PB82-233016

NATO/CCMS Pilot Study on Air Pollution Assessment Methodology and Modeling (1975-1979)

Bundesministerium des Innern
Bonn (Germany, F.R.)

Prepared for

NATO Committee on the Challenges of Modern Society, Brussels (Belgium)

Oct 79

U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
NTIS

TECHNICAL REPORT DATA
(Please read Instructions on the reverse before completing)

1. REPORT NO.	2.	3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.
		PB82 233016

4. TITLE AND SUBTITLE	5. REPORT DATE
NATO/CCMS Pilot Study on air pollution assessment metholodology and modeling (1975-1979).	October, 1979
	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE
7. AUTHOR(S)	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS Minister of the Interior, Bonn Federal Republic of Germany, Pilot Country	10. PROGRAM ELEMENT NO.
	11. CONTRACT/GRANT NO.
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS Nato/CCMS	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED
	14. SPONSORING AGENCY CODE

15. SUPPLEMENTARY NOTES

in both English and German

16. ABSTRACT

Summary Report of the pilot study.

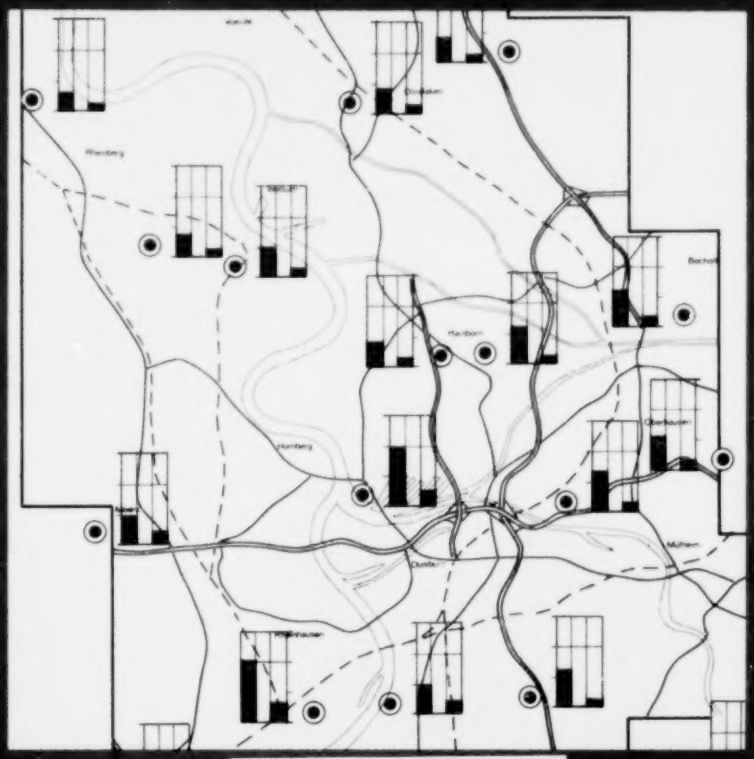
The completion of the Pilot Study on Air Pollution Assessment methodology and Modeling this year coincides with the tenth anniversary of the Committee on the Challanges of Modern Society of the North Atlantic Treaty Organization. Therefore, it is the right time to make balance and to publish an intermediate report on the common effort of experts of the NATO countries concerning the field of air pollution. The knowledge and experience actually available in the NATO countries was collected and published by the active members of the pilot study in twenty technical documents on emissions inventories, immissions forecasts, effects of air pollutants and the state of the art concerning the reduction of emissions as well as in ten scientifical publications on the development of mathematical meterorological dispersion models.

17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS

a. DESCRIPTORS	b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
Committee on the Challanges of Modern Society (CCMS) NATO Air pollution		EPA 68A

18. DISTRIBUTION STATEMENT	19. SECURITY CLASS *(This Report)*	21. NO. OF PAGES
	20. SECURITY CLASS *(This page)*	22. PRICE

PB82-233016



REPRODUCED BY
NATIONAL TECHNICAL
INFORMATION SERVICE
U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
SPRINGFIELD, VA. 22161

NATO/CCMS Pilot Study on Air Pollution Assessment Methodology and Modeling (1975-1979)

Summary Report
Prepared by the Ministry of the Interior, Bonn
Federal Republic of Germany, Pilot Country
October 1979

NATO/CCMS Leitstudie über Methoden zur Feststellung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen (1975-1979)

Zusammenfassender Bericht
vorbereitet vom Bundesministerium des Innern, Bonn
Bundesrepublik Deutschland, Pilotland
Oktober 1979

QUELLENNACHWEIS/ILLUSTRATION REFERENCES

Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW, Luftreinhalteplan Ruhrgebiet West, Düsseldorf 1977 (Titelbild/Cover, Bilder/Figures 12, 13, 14, 15)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. No. 6 (rev.) 1977 Assessment of Air Quality in Frankfurt - Abschlußbericht der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain, RPU Frankfurt (Bild/Figure 6, Tabelle/Table 1)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. Nr. 7 (1971) Air Quality Criteria for Sulphur Oxides (Bilder, Figures 7, 8, 9)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. Nr. 96 (1978) Fourth Follow-Up Report (Bilder, Figures 10, 11)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. Nr. 101 (1979) Uses and Needs for Air Quality Modeling (Tabelle, Table 2)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. Nr. 103 (1979). Proc. of the 9. Int. Techn. Meeting (Bilder, Figures 16, 20)

NATO/CCMS Air Pollution Doc. Nr. 106 (1979) Practical Demonstration of Multiple Source Urban Air Quality Modeling (Bilder, Figures 17; Tabulation Seite/Page 61)

INHALT	Seite
VORWORT	2
EINLEITUNG	6
RÜCKBLICK	20
ERGEBNISSE	22
ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	76

CONTENTS	Page
PREFACE	3
INTRODUCTION	7
HISTORICAL REVIEW	21
RESULTS	23
SUMMARY AND CONCLUSIONS	77

VORWORT

Die Bundesrepublik Deutschland hat den Aktivitäten des Ausschusses für die Probleme der modernen Gesellschaft des nordatlantischen Bündnisses (NATO/CCMS) stets ihr besonderes Interesse entgegengebracht. Dies gilt besonders für die Studien, in denen in internationaler Zusammenarbeit Probleme des Umweltschutzes bearbeitet worden sind. Es war deshalb selbstverständlich, daß den Arbeiten der Leitstudie Luftreinhaltung unsere besondere Unterstützung galt. Beginnend mit dem Jahr 1969, dem Jahr der Gründung des Ausschusses, wurde zielstrebig am Aufbau einer Sammlung von internationalen Erfahrungsberichten und Materialienbänden über den Aufbau eines Luftreinhaltesystems gearbeitet.

Der Abschluß der Leitstudie "Methoden zur Feststellung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen" fällt in diesem Jahr mit dem zehnjährigen Bestehen des Ausschusses für die Probleme der modernen Gesellschaft des nordatlantischen Bündnisses zusammen. So ist der Zeitpunkt gekommen, über die gemeinsamen Anstrengungen von Fachleuten der NATO Länder auf dem Gebiet der Luftreinhaltung eine Zwischenbilanz aufzustellen und zu veröffentlichen. In insgesamt zwanzig technischen Berichten über Emissionserhebungen, Immissionsprognosen, Wirkungen von Luftverunreinigungen und den Stand der Technik der Emissionsminderung sowie zehn wissenschaftlichen Berichten über die Weiterentwicklung mathematisch-meteorologischer Ausbreitungsmodelle haben die Mitarbeiter der Leitstudie das heute in NATO Ländern verfügbare Wissen zusammengestellt und veröffentlicht.

Noch sind nicht alle Probleme gelöst, wir werden aber in den kommenden Jahren in Zusammenarbeit mit den Mitgliedsländern

PREFACE

The Federal Republic of Germany has given a special interest towards the activities of the Committee on the Challenges of Modern Society of the North Atlantic Treaty Organization (NATO/CCMS). This concerns especially the studies on the problems of environmental protection which have been elaborated in international cooperation. Therefore, it was selfunderstanding to support especially the work of the pilot studies on air pollution. Starting in 1969 the year of the committee's foundation it was worked intensively towards a collection of reports on international experiences and materials concerning the establishment of an air quality management system.

The completion of the Pilot Study on Air Pollution Assessment Methodology and Modeling this year coincides with the tenth anniversary of the Committee on the Challenges of Modern Society of the North Atlantic Treaty Organization. Therefore, it is the right time to make balance and to publish an intermediate report on the common efforts of experts of the NATO countries concerning the field of air pollution. The knowledge and experience actually available in the NATO countries was collected and published by the active members of the pilot study in twenty technical documents on emissions inventories, immissions forecasts, effects of air pollutants and the state of the art concerning the reduction of emissions as well as in ten scientifical publications on the development of mathematical meteorological dispersion models.

Not all of the problems are solved yet; however, we will do every effort in the following years to fill in the gaps in our **still existing knowledge** in close cooperation with the member nations of the North Atlantic Treaty Organization. Experts of

der Nordatlantischen Gemeinschaft Anstrengungen unternehmen, um noch bestehende Wissenslücken auszufüllen. Fachleute aus den NATO Ländern werden Berichte über die heute noch fehlenden Bausteine des Luftreinhaltesystems, insbesondere über Luftreinhaltestrategie, über Vorhersagen von Emissionen und Immissionen in den kommenden Jahren zusammenstellen und veröffentlichen.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Leitstudien Luftreinhaltung, die in überwiegend ehrenamtlicher Arbeit die Veröffentlichung der technisch wissenschaftlichen Berichte ermöglicht haben, sowie insbesondere Herrn Lothar Kropp für die Zusammenstellung dieses Berichtes.

Für die Mitarbeiter der Arbeitsgruppen:

Erich Weber, Vorsitzender
Bundesministerium des Inneren, Bonn

the NATO countries will prepare and publish reports on the still missing elements of the air quality management system especially on air quality strategies, on predictions of emissions and air quality in the following years.

My special thanks are due to the members of the pilot studies on air pollution who made it possible to publish the technical and scientifical documents mostly besides their official work as well as especially to Lothar Kropp for the preparation of the present report.

For the members of the panels and the working group

Erich Weber, Chairman
Federal Ministry of the Interior, Bonn

EINLEITUNG

Die derzeitige Leitstudie Luftreinhaltung wurde ausgeführt, um die praktische Anwendung der vorhandenen Kenntnisse über die Luftreinhalteplanung aufzuzeigen. Die vorliegende Broschüre stellt dar

1. Einen Rahmen des Luftreinhaltesystems
2. Einen Überblick über die beiden abgeschlossenen Leitstudien
3. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der soeben abgeschlossenen Leitstudie über Methoden zur Feststellung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen
4. Einige Aspekte im Hinblick auf eine Fortsetzung der vollendeten Luftreinhaltestudie.

AUFGABEN UND ZIELE

Die Luftverunreinigungen stellen eines der wesentlichsten Probleme unserer modernen Industriegesellschaft dar. Das wichtigste Ziel der Überwachung von Luftverunreinigungen besteht in der Erhaltung der Luftqualität und damit der Sicherstellung menschlicher Gesundheit und Wohlbefindens. Gesundheitliche Schäden im besonderen aufgrund langfristigen Einwirkens von schädlichen Substanzen müssen verhindert werden. Das menschliche Wohlbefinden hängt von der biologischen Umgebung (Tiere, Pflanzen, Landschaft usw.) und von der baulichen Umgebung (Gebäude, Materialien und sonstige Güter) ab. Zusätzlich muß sichergestellt werden, daß Luftverunreinigungen aufgrund langanhaltender Einwirkungen den ökologischen Zustand nicht verändern, denn die Zerstörung der Vegetation in großen Gebieten beispielsweise hat negative Rückwirkung auf die Luftqualität.

INTRODUCTION

The present study on air pollution was designed to demonstrate and encourage the practical application of existing knowledge on air quality management systems. This booklet shall give

first, a scope of the air quality management system

second, a summary of the completed pilot studies on air pollution

third, a review of the actually finalized air pollution pilot study on assessment methodology and modeling

fourth, some future aspects in view of a continuation of the preceding air pollution studies

SCOPE

Air pollution is recognized as one of the most significant problems facing our modern industrial society. The most important objective of air pollution control policy is to safeguard an air quality which will ensure human health and well-being. Health hazards must be prevented, particularly in view of long-term exposure to noxious substances. Human well-being depends on the biological environment (animals, plants, landscape, etc.) and on the material environment of man (housing, materials, goods, etc.). In addition it must be ensured that air pollutants do not affect the ecological capacity of the environment over longer periods of time. The destruction of vegetation of wide areas, for example, may have negative repercussions on air quality in addition.

The expansion of industrial production, the mechanization of wide spheres of life and heavy motorization have in the last

Das Wachstum der Industrie, die Automation weiter Lebensbereiche und die starke Motorisierung hat die Luftverunreinigungen in verschiedenen Bereichen während der letzten Jahre sogar anwachsen lassen. Die Wirkungen durch Verunreinigungen steigen infolge höherer Toxizität, verlängerter Einwirkzeit, höherer Konzentrationen in Stadtgebieten, ungünstiger Wetterbedingungen usw. Gemeinsam mit einer Reihe anderer abträglicher Einwirkungen, denen der Mensch heutzutage ausgesetzt ist, sind die Luftverunreinigungen als schwerwiegende Ursachen für Zivilisationskrankheiten anzusehen.

Luftreinhaltemaßnahmen sind notwendig, um die Luftverunreinigungen zu vermeiden oder zumindest optimal zu verringern; der internationale Erfahrensaustausch kann hierbei helfen, ökonomische Lösungen zu finden. Die CCMS-Aktivitäten im Hinblick auf die Luftverunreinigungen bestanden darin, Luftreinhalteprobleme besonders in den Ballungsräumen zu erkennen. Weder der weitreichende oder weltweite Transport noch die Beeinflussung des Klimas waren deshalb Thema dieser Leitstudien Luftreinhaltung.

Umfassende Luftreinhaltesysteme (AQMS) sollten etwa folgende Glieder der Kausalkette berücksichtigen (vgl. Bild 1):

- Emission
- Transmission (Ausbreitung)
- Luftqualität
- Immission
- Kontrollmaßnahmen

Diese Glieder des Luftreinhaltesystems unterteilen sich wie folgt:

- Feststellung der Emissionen, einschließlich Überwachungs- und Reduzierungsmaßnahmen

few years even increased air pollution in partial sectors. The effect of pollutants may be increased by toxicity, prolonged exposure high concentration in conurbations, unfavourable weather conditions, etc. Together with the large number of other adverse repercussions of civilization to which man is exposed today, air pollutants are to be regarded as serious causes of civilizational disease.

Therefore, air quality management systems are necessary in order to optimally avoid or, at least, to reduce air pollution impacts; an international exchange of experience can help to do this economically. The objectives of the CCMS activities on air pollution were to get an insight into the air pollution problems especially within metropolitan areas. Therefore, neither the long-range or world wide transport nor the influencing of the climate were treated in these pilot studies on air pollution.

Comprehensive air quality mangement systems (AQMS) should include roughly the following elements (see figure 1):

- Emission
- Dispersion
- Air Quality
- Immission (transfer and impact)
- Control Strategy.

All elements of an AQMS can be subdivided in groups as follows:

- emission assessment, including control technology and prediction of emissions
- dispersion and transport modeling of air pollutants for e. g. distances shorter than 20 km, up to 500 km, in complex terrain or of heavy gases
- air quality assessment, including air quality prediction

- mathematische Behandlung des Transports und der Verteilung von Luftverunreinigungen, z. B. über Entfernungen bis 20 km, bis 500 km, in komplexen Orographien oder von schweren Gasen (kurzzeitige Emissionen)
- Feststellung der Luftverunreinigungen, einschließlich der Vorhersage der Entwicklung der Luftqualität
- Transfer (Übertragung) von Luftverunreinigungen innerhalb von Pflanzen, Materialien, Tieren, Boden, Wasser sowie in anderen Ökosystemen
- Feststellung der Wirkungen und deren Vorhersage
- Überwachungsmaßnahmen, einschließlich Luftreinhaltepläne und Verbesserungsmaßnahmen

Eine komplette Übersicht über diese Bausteine des Systems gibt Bild 2.

Die LEITSTUDIE LUFTREINHALTUNG (1969 - 1974) befaßte sich im wesentlichen mit den drei Problemkreisen (vgl. Bild 3):

- Feststellung der Luftverunreinigungen in städtischen Gebieten
- Entwicklung von Kriterien im Hinblick auf die Umwelteinflüsse von Luftverunreinigungen
- Darlegung verfügbarer Überwachungstechnologien für Emissionen von Luftverunreinigungen

Des weiteren wurde der internationale Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Ausbreitungsmodelle für Luftverunreinigungen angeregt.

Die Leitstudie METHODEN ZUR FESTSTELLUNG UND MODELLMÄßIGEN BEHANDLUNG VON LUFTVERUNREINIGUNGEN (1975 - 1979) ging in

- transfer of air pollutants in plants, materials, animals, soil, water as well as in complex ecosystems
- impact assessment, prediction of effects
- control strategies including air quality maintenance or implementation plans.

A complete survey of the elements and subelements of an AQMS is given in figure 2.

The AIR POLLUTION PILOT STUDY (1969 - 1974) dealt mainly with three subelements of the AQMS (see figure 3):

- assessment of air pollution levels in urban environment
- development of criteria regarding the environmental effects of air pollutants
- evaluation of available control technologies of air pollution emissions.

It furthermore encouraged experts to exchange ideas and experience in the field of air pollution dispersion modeling.

The PILOT STUDY ON AIR POLLUTION ASSESSMENT METHODOLOGY AND MODELING (1975 - 1979) went further in its goals as to systematically follow the way of air quality managing: The main topics dealt with were (see figure 4):

- set up of an air quality management system
- methodology of emissions inventories and projections
- modeling air pollution transport and dispersion.

In parallel to an actual development of guidelines of air pollution modeling an intensive exchange of experience on air pollution modeling and its application was held through international technical meetings.

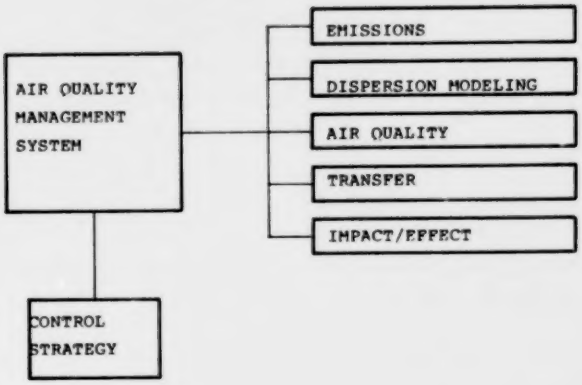


Figure 1: Air Quality Management System

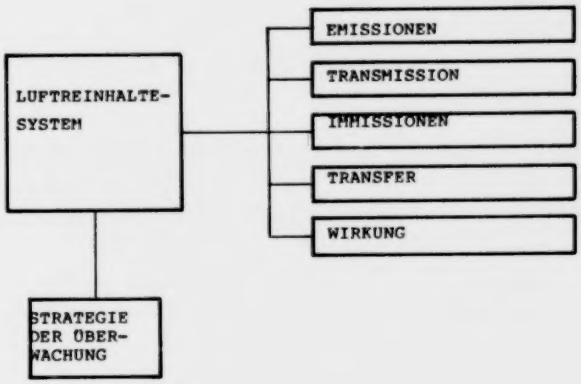


Bild 1: System der Luftreinhaltung

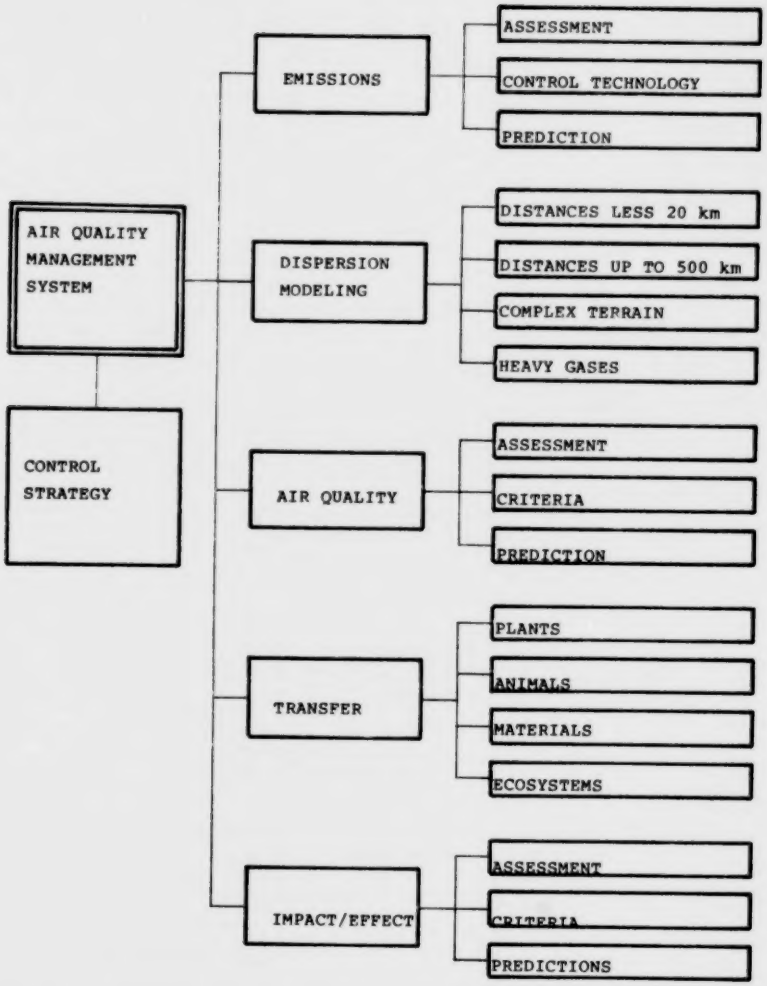


Figure 2 Elements and Subelements of an Air Quality Management System

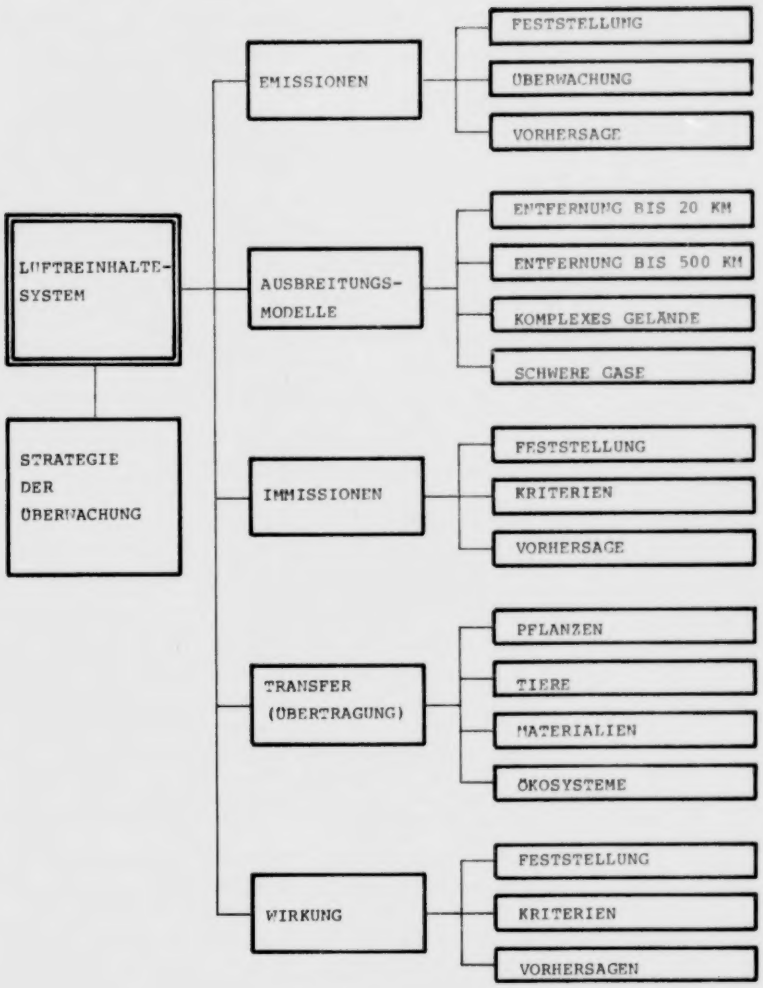


Bild 2: Bausteine des Luftreinhaltesystems

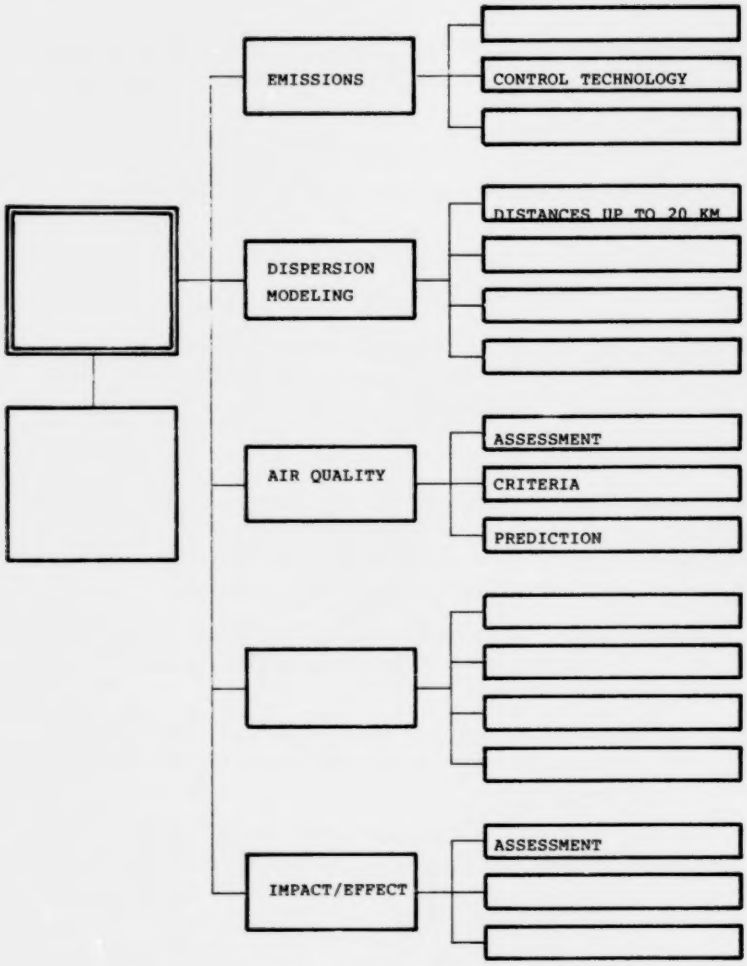


Figure 3 Topics of AQMS treated by the First AIR POLLUTION PILOT STUDY

Bild 3 Themen des Luftreinhaltesystems - behandelt innerhalb der ersten Leitstudie Luftreinhaltung

ihren Zielen weiter, indem sie systematisch das Luftreinhaltekonzept behandelte. Die wesentlichen Elemente waren (vgl. Bild 4):

- Aufstellung eines Luftreinhaltesystems
- Methoden zur Erstellung von Emissionskatastern und -vorhersagen
- mathematische Behandlung des Transports und der Verteilung von Luftverunreinigungen

Neben der Entwicklung von Richtlinien für Ausbreitungsmodelle erfolgte im Rahmen internationaler Veranstaltungen ein intensiver Austausch von Erfahrungen bei der Aufstellung und Anwendung solcher Modelle.

Der Vergleich der in den zwei abgeschlossenen Leitstudien behandelten Problemkreise mit allen Bausteinen des Luftreinhaltesystems zeigt, daß einige Problemkreise noch nicht oder noch nicht abschließend behandelt wurden (vgl. Bild 5):

- Feststellung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Wirkung auf und Aufnahme durch Mensch, Tier, Pflanze, Materialien usw.)
- Untersuchung und mathematische Behandlung des Transfers von Luftverunreinigungen (in Pflanzen, Tieren, Boden, Wasser usw.)
- Entwicklung mathematischer Modelle des Transports und der Verteilung von Luftverunreinigungen über große Entfernungen, bei komplexen meteorologischen und geographischen Gegebenheiten

Comparing the topics treated by the two completed pilot studies with all elements and subelements of a complete air quality management system some main topics have not yet been treated (see figure 5):

- assessment of air pollution impact (effects on and uptake by human beings, animals, plants, materials etc.)
- investigations into and modeling of the transfer of air pollution (in plants, animals, soil, water etc.)
- the development of air pollution models for large distances, complex meteorological and topographical situations.

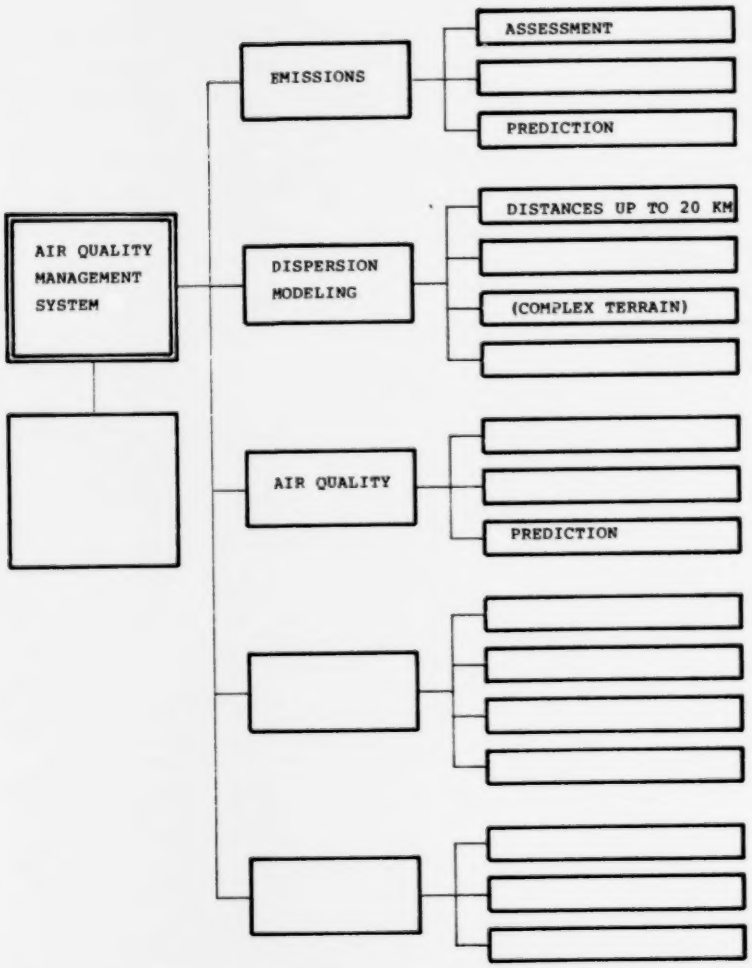


Figure 4 Topics of AQMS treated by the AIR POLLUTION PILOT STUDY ON ASSESSMENT METHODOLOGY AND MODELING

Bild 4 Themen des Luftreinhaltesystems - behandelt innerhalb der Leitstudie Methoden zur Feststellung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen

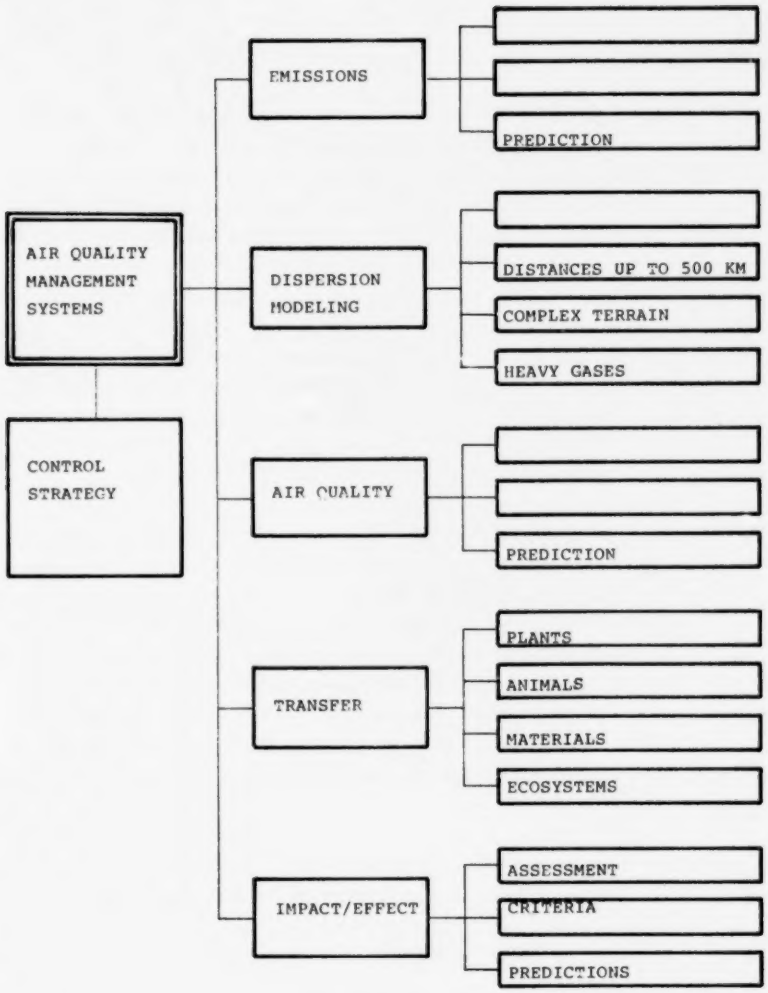


Figure 5 Topics of AQMS still to be treated

Bild 5 Noch zu behandelnde Themen des Luftreinhalte-systems

RÜCKBLICK

Die erste LEITSTUDIE LUFTREINHALTUNG wurde 1969 unter der Führung der Vereinigten Staaten von Amerika und unter Begleitung durch die Bundesrepublik Deutschland und die Türkei begonnen. Wissenschaftler aus acht NATO-Ländern und einem weiteren Land nahmen an dieser Studie teil. 12 technische Berichte über Grenzwertvorstellungen und Kontrolltechnologien für Luftverunreinigungen wurden erarbeitet sowie vier Symposiumsberichte über den Erfahrungsaustausch von Fachleuten auf dem Gebiet der Ausbreitungsmodelle für Luftverunreinigungen veröffentlicht. Diese Leitstudie wurde 1974 durch die Veröffentlichung eines Schlußberichtes mit insgesamt 15 Empfehlungen abgeschlossen.

Die zweite LEITSTUDIE ÜBER METHODEN ZUR FESTSTELLUNG UND MODELLMÄßIGEN BEHANDLUNG VON LUFTVERUNREINIGUNGEN wurde 1975 unter der Führung der Bundesrepublik Deutschland und unter Begleitung durch die USA und Belgien begonnen. Über 30 Fachleute aus neun NATO-Ländern waren beteiligt. Sie bereiteten 10 technische Berichte einschließlich umfangreicher Anhänge vor und veröffentlichten diese sowie fünf weitere Symposiumsberichte mit den Vorträgen über die Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen für Luftverunreinigungen. Die Leitstudie wurde durch einen Schlußbericht mit 10 Empfehlungen abgeschlossen, die von den einzelnen Arbeitsgruppen erarbeitet wurden.

Auch im Rahmen dieser Leitstudie wurden internationale technische Symposien abgehalten, bei denen Wissenschaftler aller Nationen teilnehmen und ihre Erfahrungen bei der Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen austauschen konnten.

HISTORICAL REVIEW

The CCMS started the first AIR POLLUTION PILOT STUDY in 1969 with the United States of America as pilot nation and the Federal Republic of Germany and Turkey as copilot countries. Scientific experts from eight NATO-countries and one non-NATO country took part in this study. They worked out 12 documents mainly on air quality criteria and control techniques and published four proceedings on expert meetings on air pollution modeling. This pilot study was concluded in 1974 publishing a final report with 15 recommendations.

The second PILOT STUDY ON AIR POLLUTION ASSESSMENT METHODOLOGY AND MODELING was started in 1975 with Germany as pilot country and USA and Belgium as co-pilot nations. More than 30 experts from nine NATO-countries participated in this study. They prepared and published 10 technical documents including detailed and comprehensive appendices and five proceedings of international technical meetings on air pollution modeling and its application. The pilot study work was completed by the final report including 10 recommendations deduced from the panels work.

Within the CCMS-pilot studies international technical meetings on air pollution modeling were held annually. They are open for experts from all nations to contribute and exchange their experience on the development of dispersion models and their application.

ERGEBNISSE

Leitstudie Luftreinhaltung

Während der Laufzeit der LEITSTUDIE LUFTREINHALTUNG (1969 - 1974) wurden Untersuchungen in den folgenden Bereichen

- Feststellung der Luftverunreinigung
- Entwicklung von Beurteilungskriterien für Luftverunreinigungen
- Zusammenstellung von Überwachungsmaßnahmen für Luftverunreinigungen

zusammengestellt und die Ergebnisse detailliert veröffentlicht.

Die Luftqualität wurde in Ankara, St. Louis, Frankfurt, Oslo und in der Süd-Holland-Region ermittelt und in sieben Berichten publiziert. Innerhalb dieser Studien wurde der Grad der Luftverunreinigung durch verschiedene Schadstoffe gemessen, die meteorologische Situation und das örtliche Klima untersucht sowie Emissionskataster aufgenommen, um die Größe und Lage der Quellen zu bestimmen. Die Beziehung zwischen den Emissionen und dem Grad der Luftverunreinigung wurde in einem statistischen Modell behandelt.

Innerhalb der letzten Luftreinhaltestudie wurde die Ermittlung der Luftqualität im Raum Frankfurt fortgesetzt. Ein fortgeschriebener Bericht über die Situation der Luftqualität, der ebenfalls Aspekte des Übergangs (Transfer) und der Wirkung von Luftverunreinigungen sowie spezielle Anwendungen der Ergebnisse dieser Studie im Hinblick auf Luftqualität und Regionalplanung enthält, wurde 1978 vollendet und 1979 als CCMS Bericht veröffentlicht. Ein Beispiel aus dieser Studie zeigt Bild 6 in Form der Häufigkeit des Auftretens von Flechten im Raum Frankfurt.

RESULTS

Pilot Study on Air Pollution

During the course of the PILOT STUDY ON AIR POLLUTION (1969 - 1974) investigations with respect to three different topics

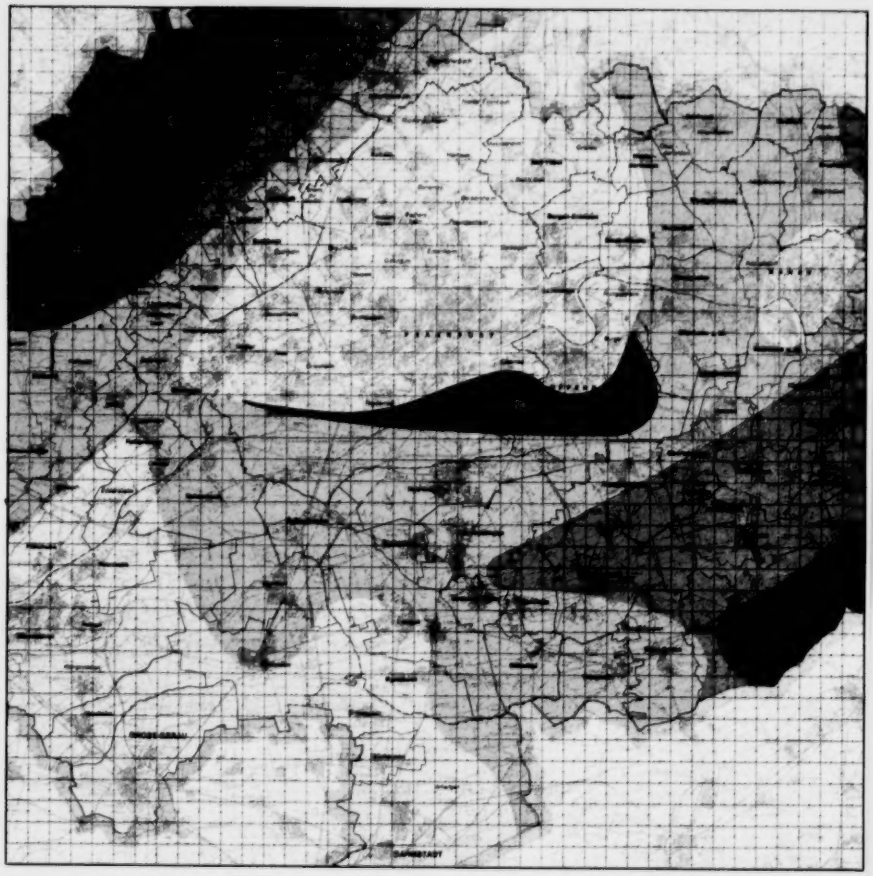
- assessment of air quality
- development of air quality criteria
- compilation of air pollution control techniques

were summarized and the results were published in detail.

The air quality assessment was performed in Ankara, St. Louis, Frankfurt, Oslo and the South Holland Region and published in seven documents. Within these studies air quality levels of different pollutants were measured, meteorological situations and local climate were investigated and emissions inventories were conducted to determine the location and magnitude of the sources. A statistical relationship between emissions and air quality levels was modeled.

In continuation to the air quality assessment studies during the course of this air pollution pilot study the investigations were carried on for the Frankfurt region. A revised document on the air quality assessment including also aspects of transfer and impact of air pollutants and special applications of the results of the study on problems of air quality and land use planning was completed in 1978 and published in 1979 as CCMS document. As a sample of this study figure 6 shows the frequency of occurence of lichens in the Frankfurt-Main region.

One result of the pilot study is the publication of five air quality criteria documents on sulphur oxides, particulate



Flechtenindices (IAP)
Lichen indices

0 geringster Flächenbewuchs
slightest lichen growth

1–50

51–100

101–200

> 200 normaler Flächenbewuchs
normal lichen growth

Meßzeitraum 1968–1973
Measuring period 1968–1973

Figure 6 Zoning of lichens

Bild 6 Flechtenzonierung

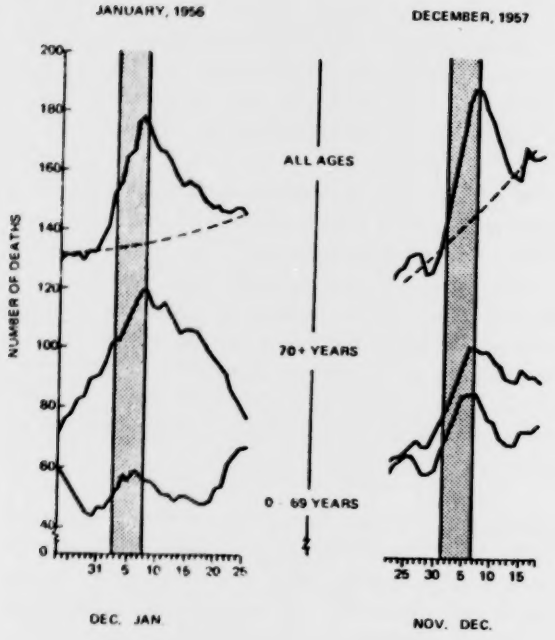


Figure 7 Mortality figures for the January 1956 and December 1957 smog "episodes" in London. (The figure shows the increase in numbers of deaths during smog "episodes" --shaded periods--especially in the older age group.)

Bild 7 Sterblichkeit während der Smog-Perioden Januar 1956 und Dezember 1957 in London. (Das Bild zeigt die steigenden Sterbeziffern während der Smog-Perioden - schraffiert - vorwiegend bei den älteren Bevölkerungsgruppen.)

Im Rahmen der Pilot-Studie Luftreinhaltung wurden fünf Berichte über Luftqualitätskriterien veröffentlicht: über Schwefeloxide, Staub, Stickstoffoxide, photochemische Oxidantien und Kohlenwasserstoffe. Beispiele über die Wirkung solcher Luftverunreinigungen auf den Menschen, Pflanzen und Materialien sind in den Bildern 7 bis 9 wiedergegeben. Das Ziel der Erarbeitung und Veröffentlichung solcher Kriteriendokumente bestand darin, in einer einheitlichen Art und Weise bei der Aufstellung von Zielen und Standard von Luftverunreinigungen zu helfen.

Überwachungsmaßnahmen wurden untersucht und in fünf Einzelberichten veröffentlicht: für Schwefeloxide, Staub, Kohlenmonoxid, Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und lösliche organische Verbindungen. Diese Berichte bieten eine Basis für die Entwicklung von Maßnahmenplänen im Hinblick auf die Verminderung von Emissionen besonders aus stationären Quellen. Der Einsatz einheitlicher Kontrolltechnologien vermag die ökonomischen Probleme zu überwinden, die dann auftreten, wenn verschiedene Länder unterschiedlich wirksame und aufwendige Kontrolltechnologien anwenden.

Der Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Ausbreitungsmodelle wurde bei alljährlichen Symposien in Frankreich, Deutschland und Dänemark durchgeführt und in fünf Berichten veröffentlicht. Die ersten Treffen in Frankreich und Deutschland wurden mehr oder weniger als offene Diskussion zwischen 10 - 30 Fachleuten über Untersuchungen und Erfahrungen abgehalten. Das Symposium in Dänemark entwickelte sich zu einer Veranstaltung mit mehr als 30 Vorträgen, die von nahezu 70 Fachleuten aus 14 Ländern gehört wurden. Themen waren beispielsweise die Anwendung von Ausbreitungsmodellen in besonderen Situationen und deren Anwendung innerhalb der Luftreinhalteplannung.

matter, nitrogen oxides, photochemical oxidants and related hydrocarbons. Examples of effects due to air pollution on human beings, plants and materials are given in the figures 7 - 9. The aim of promulgation and publications of the criteria documents was to help nations to proceed in a timely and uniform manner in setting their air quality goals or standards.

Control techniques were investigated and described in five documents on sulphur oxides, particulate matter, carbon monoxide emissions, nitrogen oxides, hydrocarbons and organic solvent emissions. These documents provide a basis in the development of air pollution implementation plans for the abatement of emissions from especially stationary sources. The use of common control technologies overcomes economic problems which might occur when countries employ control technologies of differing degree of effectiveness and costs.

The exchange of ideas and experiences in the field of air pollution modeling was done during annual meetings of modelers in France, Germany and Denmark and were published in five documents. The first meetings in France and Germany were held as more or less open discussions on investigations and experiences by some 10 to 30 experts only. The meeting in Denmark then developed to a presentation of more than 30 papers with an audience of nearly 70 model experts from 14 countries. Topics were, for instance, the use of models in special cases and its application within air quality policy.

From the results of the meetings and discussions it became clear to carry on and to emphasize the development of dispersion models within a modeling panel and the development of assessment technologies within an assessment panel in a succeeding air pollution pilot study.

Die Treffen selbst und die Diskussionen zeigten die Notwendigkeit, die Entwicklung von Ausbreitungsmodellen und Technologien zur Ermittlung von Emissionen innerhalb von Arbeitskreisen in einer folgenden Leitstudie Luftreinhaltung fortzuführen. Desweiteren stellte es sich deutlich heraus, den internationalen Erfahrungsaustausch alljährlich im Rahmen von internationalen technischen Treffen über Ausbreitungsmodelle und deren Anwendung fortzusetzen.

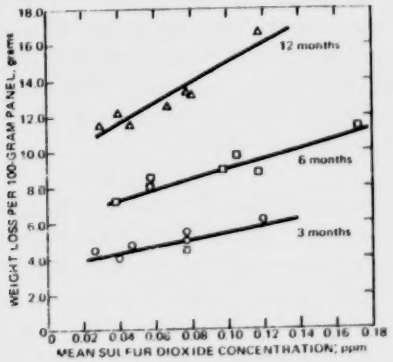


Figure 8 Relationship between corrosion of mild steel and corresponding mean sulfur dioxide concentration for 3-, 6- and 12-month exposures at seven Chicago sites (Sept. 1963-1964).

Bild 8 Abhängigkeit von Stahlkorrosion und zugehöriger Schwefeldioxidkonzentration bei 3-, 6- und 12-monatiger Exposition an sieben Orten Chicagos (Sept. 1963-1964)

Furthermore a necessary continuation of performing international technical meetings on dispersion models and its application every year as a platform of international exchange of experience and ideas became obvious.

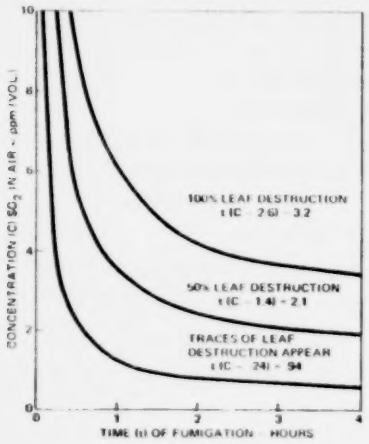


Figure 9 Curves showing concentrations of sulfur dioxide which will produce three different degrees of acute alfalfa leaf damage in different time periods under conditions of maximum absorption. (These curves from experimental data may be used to estimate the extent of damage to alfalfa at any sulfur dioxide concentration and exposure time.)

Bild 9 Die Kurven zeigen die Schwefeldioxid-Konzentrationen, bei drei verschiedenen Graden von alfalfa Blattschäden bei Bedingungen maximaler Absorption während unterschiedlicher Expositionszeiten. (Diese aus Untersuchungen gewonnenen Kurven lassen eine Abschätzung der alfalfa Schädigung in Abhängigkeit der Schwefeldioxid-Konzentration und Expositionszeit zu.)

Leitstudie über die Methoden der Ermittlung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen

Die Ergebnisse der Leitstudie Methoden der Ermittlung und modellmäßigen Behandlung von Luftverunreinigungen (1975 - 1979) wurden von einer Arbeitsgruppe und zwei Arbeitskreisen entwickelt. Die Arbeit innerhalb der Leitstudie beinhaltete folgende wesentliche Thematiken:

- Techniken des Emissionskatasters
- Techniken der Emissionsprognose
- Grundlagen der Ausbreitungsrechnung in städtischem Gebiet
- Vergleich verfügbarer Ausbreitungsmodelle
- Richtlinien für die Anwendung der Modelle und
- Neuere Techniken der Ermittlung

Diese Themen wurden durch die zwei Arbeitskreise untersucht während die Arbeitsgruppe folgende Berichte vorbereitete:

- Richtlinie für Luftreinhaltesysteme und
- ein Dokument über Begriffsbestimmungen

In vier Folgeberichten wurde die Analyse des Zustandes der Luftqualität dargelegt. Die systematische Entwicklung der Schwefeldioxid- und Staubniederschlagsbelastung und einige Trends für Kohlenmonoxid, Oxidantien und Fluoride wurden dargestellt. In den meisten Städten der berichtenden NATO-Länder zeigte die Luftverunreinigung eine fallende Tendenz, in einigen zeigte sich eine Stagnation, und an wenigen Stellen wurde ein Ansteigen der Luftverunreinigung festgestellt (s. Bilder 10 und 11).

Pilot Study on Air Pollution Assessment Methodology and Modeling

The results of the PILOT STUDY ON AIR POLLUTION ASSESSMENT METHODOLOGY AND MODELING (1975 - 1979) were elaborated by a working group and two panels (Assessment Methodology Panel and Modeling Panel). The pilot work included several major instruments:

- emissions inventory techniques
- emissions projection techniques
- principles of urban air quality modeling
- comparison of available models
- guidelines for application of models and
- modern assessment techniques.

These topics were investigated by the two panels whereas the working group prepared

- a guideline to air quality management systems and
- a glossary of terms.

Within four follow-up documents to the 1969 - 1974 pilot study the analysis of ambient air quality have been reported. Trend analyses were predominantly available for SO_2 and TSP (total suspended particulates), but some trends for CO (carbon monoxide), O_x (oxidants) and F (fluorides) were also extracted. In most cities of the reporting NATO countries the level of ambient air concentration is decreasing, in some the level is stagnant, in less places an increase of air pollution is reported (see figures 10 and 11).

	TSP	SO_x	CO	O_x	NO_x
BELGIUM					
Brussels					
CANADA					
Montreal	1967-77 ↘	1967-77 ↘	1967-77 ↘	1967-77 →	1967-77 ↗
Ottawa	1970-77 ↘	1970-77 ↘	1973-77 ↘	1975-77 →	1975-77 →
Toronto	1962-77 ↘	1970-77 ↘	1970-77 ↗	1973-77 ?	1974-77 ↗
Vancouver	1970-77 ↘	1972-77 ↘	1974-77 →	1973-77 →	
DENMARK					
Copenhagen					
FRANCE					
Marseille	1973-77 ↘	1973-77 ↘			
Paris	1973-77 ↘	1973-77 ↘			
GERMANY (Fed. Rep.)					
Cologne		1971-72 ↘			
Dortmund		1971-72 ↘			
Dusseldorf		1971-72 ↘			
Essen		1971-72 ↘			
Frankfurt		1963-77 ↘	1966-73 ↘		
Hamburg		1959-77 →			
Munich		1965-77 ↘	1970-77 ↗		
Stuttgart					
GREECE					
Athens					
ICELAND					
Reykjavik					
ITALY					
Genoa					
Milan		1970-77 ↘			
Naples					
Palermo					
Rome					
Turin					
LUXEMBOURG					
Luxembourg City					

Figure 10 Ambient Air Quality Trend Analysis

Bild 10 Entwicklung der Luftqualität

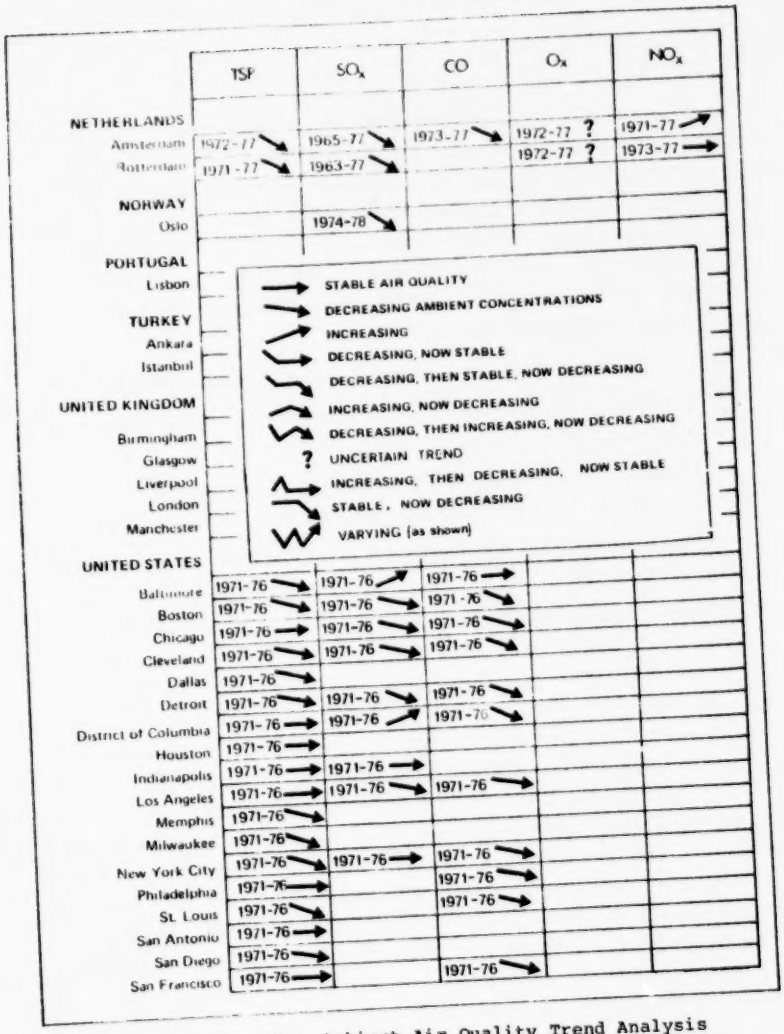


Figure 10 (continued) Ambient Air Quality Trend Analysis

Bild 10 (Fortsetzung) Entwicklung der Luftqualität

Arbeitsgruppe

Die Ergebnisse der Leitstudien über die systematischen Ermittlungen bestätigte das Konzept der Anwendung eines umfangreichen Luftreinhaltesystems. Die Arbeitsgruppe hat deshalb eine Richtlinie für Luftreinhaltesysteme entwickelt, die durch drei Anhänge ergänzt wird (Emissionskataster, Emissionsprognosen und Einführung in die Ausbreitungsmodelle). Der wesentlichste Teil eines Luftreinhaltesystems ist der Maßnahmeplan der sich auf folgende Säulen stützen sollte:

- Ermittlung der Luftqualitätssituation (vgl. Bild 12)
- Bestimmung der Quellen von Luftverunreinigungen (Emissionskataster)
- Vorhersage der Emissionen von Luftverunreinigungen zur Prognose der zukünftigen Luftqualitätssituation
- Feststellung, Maßnahmenplanung und Überwachung der Luftverunreinigung

Ein solcher Maßnahmenplan sollte alle 3 - 5 Jahre wiederholt werden.

Unter Leitung der Arbeitsgruppe haben die beiden Arbeitskreise zusätzlich ein gemeinsames Dokument mit Begriffsbestimmungen erarbeitet. Hierin sind diejenigen Termini aufgelistet und erläutert, die in den CCMS Berichten verwendet werden. Sie wurden zum Teil aus bestehenden gleichartigen Veröffentlichungen entnommen, zum großen Teil aber von den Mitarbeitern des Arbeitskreises entwickelt. Etwa 400 technische Begriffe, die normalerweise bei der modellhafen Beschreibung von Luftverunreinigungen benutzt werden, sind innerhalb dieses Berichtes erläutert. Das folgende Beispiel dient zur qualitativen Erläuterung dieses Dokumentes: Physikalisches Modell bedeutet: "Die Simulation eines realen Vorgangs durch ein physikali-

Working Group

The results of the assessment methodology studies reinforced the concept of utilizing a comprehensive air quality management system. The WORKING GROUP, therefore, prepared a guideline document for air quality management systems (AQMS) being complemented by three appendices (emissions inventory, emissions projecting and introduction to air quality modeling). The most important part of an AQMS is a strategy plan which should be based on

- determination of ambient air quality (see figure 12 as an example)
- determination of the sources of air pollutants (emissions inventory)
- modeling and projecting future air quality
- formulation, implementation and enforcement of air pollution control

A strategy plan should be revised every 3 - 5 years.

Under the WORKING GROUP the two panels additionally prepared a glossary of common terms. This glossary lists and explains terms which are used in the CCMS documents. They were partially taken from already existing glossaries but mostly worked out by the panel members. Around 400 technical terms normally used in air pollution assessment and modeling are explained in the glossary. The following is an example of such a term: Physical Model means: "The simulation of a real process by a physical experiment, which models the important features of the original process that are the object of study. For instance, the simulation of a dispersion problem in a windtunnel."

sches Experiment, daß die wesentlichen Eigenschaften des ursprünglichen Vorgangs darstellt. Z. B. die Simulation eines Ausbreitungsvorganges in einem Windkanal."

	STABLE AIR QUALITY	DECREASING AMBIENT CONCENTRATIONS	INCREASING	DECREASING, NOW STABLE	DECREASING, THEN STABLE, NOW DECREASING	INCREASING, NOW DECREASING	DECREASING, THEN INCREASING, NOW DECREASING	UNCERTAIN TREND	INCREASING, THEN DECREASING NOW STABLE	STABLE, NOW DECREASING	VARYING (as shown)
	→	↘	↗	↘→	↘↘	↗↘	↘↗	?	↗→	→↘	↘↗
TSP	8	15		2			1				
SO_x	3	16	2	3	2						
CO	2	12				1			1	1	1
O_x	3							3			
NO_x	2		3								

Figure 11 Summary of Air Quality Trends
Bild 11 Zusammenfassung des Trends der Luftqualität

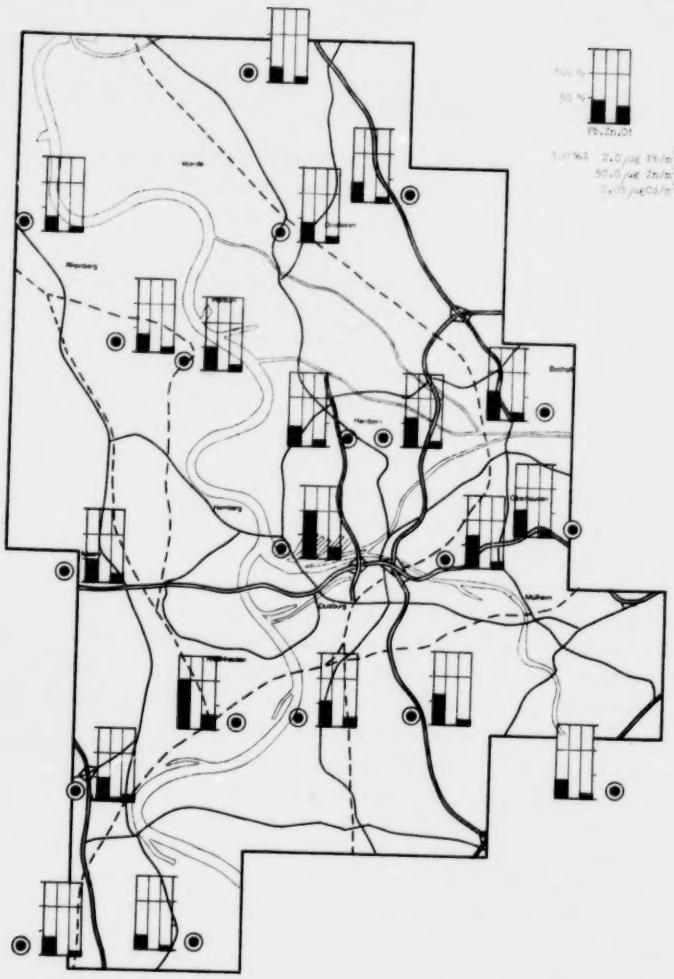


Figure 12 Ambient Air Quality - Heavy Metals
The height of the columns represents the arithmetic mean values in µg/m³.

Bild 12 Immissionsbelastung - Schwermetalle
Die Säulenhöhen geben die arithmetischen Mittelwerte in µg/m³ an.

Arbeitskreis Methoden der Ermittlung

Die Ergebnisse der zwei Berichte des ARBEITSKREISES METHODEN DER ERMITTLUNG von Emissionen bestätigen das Konzept einer umfangreichen Luftreinhalteplannung.

Der erste Bericht (Emissionskatastersystematik) besteht aus einem einführenden Teil und sechs technischen Anhängen. Diese beschreiben die Praxis der Emissionskatastersysteme, wie sie in Belgien, Canada, Deutschland, den Niederlanden, Norwegen und den Vereinigten Staaten angewendet bzw. entwickelt worden sind. Der Gesamtbericht einschließlich der Anhänge ist äußerst nützlich für denjenigen, der mit der Aufstellung, der Organisation oder dem Betriebes eines eigenen Systemes konfrontiert wird. Besonders aus den Anhängen wird deutlich, welche großen Unterschiede in den Zielen und Möglichkeiten der verschiedenen Emissionskatastersysteme bestehen. Daraus folgt ebenfalls ein großer Unterschied in der Effektivität dieser Systeme. Einige Länder wenden bereits umfangreiche Emissionskatastersysteme an, während andere ihre Systeme auf eine begrenzte Region oder eine spezielle Luftverunreinigungskomponente beschränken oder sich gar erst in der Entwicklung eines solchen Systems befinden. Der Inhalt eines Emissionskatasters sowie dessen Einzelelementen werden stark durch die zukünftige Anwendung bestimmt. Aus diesen Gründen ist das Ziel und die zukünftige Anwendung von Emissionskatastern innerhalb des Luftreinhaltesystems sorgfältig als erster Schritt bei der Entwicklung des Emissionskatastersystems zu analysieren. Solche Ziele können z. B. sein:

- die Ermittlung der derzeitigen Emissionssituation eines bestimmten Gebietes wie z. B. die Bestimmung der Anteile verschiedener Quellengruppen an den Emissionen

Assessment Methodology Panel

The results of the two studies of the ASSESSMENT METHODOLOGY PANEL on emissions reinforce the concept of utilizing a comprehensive approach for air quality management.

The first document (Air Pollution Emissions Inventory Systems) consists of an introductory part and six technical papers. They describe the emissions inventory systems as used or as being developed in Belgium, Canada, Germany, The Netherlands, Norway and the United States of America. The document as a whole - including the annexes - will be extremely useful to someone who is faced with the task of setting up, organizing or operating his own system. From the papers it is obvious that large differences exist in the objectives and resources of the different inventory systems. As a consequence also large differences in the effectiveness of these systems are evident. Some countries apply extensive inventory systems while others have restricted their objectives to a limited area or to specific pollutants or are only in the process of developing a system. The contents of an emissions inventory and the elements of the emissions inventory system are determined by the use that will be made of the data. For this reason, the objectives of an emissions inventory system within the air quality management system (AQMS) should be carefully evaluated as the first step in developing the emissions inventory system. Such objectives may be, for example:

- the assessment of the current emissions situation in a certain area, such as determining the contribution from the various emitter categories
- the prediction of changes in the emissions situation due to the addition of new air pollution sources

- die Prognose der Änderung der Emissionssituation aufgrund zusätzlicher neuer Luftverunreinigungsquellen
- die Prognose der Änderung der Emissionssituation aufgrund gewisser Überwachungsmaßnahmen
- die Prognose der Änderung der Luftqualitätssituation aufgrund der vorgenannten Änderungen der Emissionssituation
- die Entwicklung von Reduzierungs- und Überwachungsmaßnahmen
- Einrichtung und Betrieb von Luftqualitätsüberwachungsnetzen

Für die meisten dieser Anwendungen sind Informationen über die Art der Luftverunreinigung, den Massenstrom der Emission, die Ursachen und Lage von Emissionen und die Zeiten des Auftretens erforderlich. Informationen über die Emittenten können ebenfalls aufgenommen werden. Der spätere Einsatz des Emissionskatasters bestimmt ebenfalls den Grad der Detailliertheit (Auflösung). Ein umfangreiches Emissionskataster kann beispielsweise detaillierte Informationen über die industriellen Anlagen, deren Betriebszustände, deren exakte geographische Lage und der Zeiten enthalten, wann die Emissionen stattfinden. Weniger detaillierte Emissionskataster können sich auf die Gesamtemissionen bestimmter Gebiete dargestellt als Jahresemissionen beschränken. Schließlich bestimmt die beabsichtigte Anwendung mit welcher Detailliertheit die aktuelle Emissionssituation beschrieben werden muß und damit die Häufigkeit der Fortschreibung der Emissionskatastern. Ein Beispiel soll beschreiben, wie umfangreich ein Emissionskataster sein kann. Die Bilder 13 und 14 geben die Emissionen je 1 km² an Stickstoffoxiden (als NO_2) eines Gebietes von über 500 km² wieder.

- the prediction of changes in the emissions situation due to certain control strategies
- the prediction of changes in the ambient air quality from the above-mentioned changes in the emissions situation
- the development of abatement and control procedures
- design and management of air quality monitoring networks.

For most of these applications, information is required on the type of pollutants, the mass flow rate of the emissions, the cause and location of the emissions, and the times at which they take place. Data on the emitters may also be included. The objectives of the emissions inventory will also determine the amount of detail required (resolution). A comprehensive emissions inventory may, for instance, include detailed information on industrial installations, their mode of operation, their exact geographic location and the time when the emissions take place. Less detailed inventories may deal only with total emissions in certain regions, presented as yearly averages. Finally, the use of the data determines the required accuracy with which the data should represent the current emissions situation and, thus, also dictates the frequency of updating the emissions inventory. One example may serve to demonstrate how extensive an emissions inventory system can be. The figures 13 and 14 reflect the emissions of nitrogene oxides (as NO_2) of an area of about 500 km² on a grid basis of 1 km².

A second document (Air Pollution Emissions Projections) is concerned with predicting emissions an activity of utmost importance in the framework of air quality management. In an introductory part the views of the panel members based on the experiences in several NATO countries especially in the

Der zweite Bericht (Emissionsprognose) befaßt sich mit der Vorhersage von Emissionen, einem sehr wichtigen Thema im Rahmen von Luftreinhaltesystemen. Im Rahmen eines einführenden Kapitels werden die Ansichten der Mitglieder der Arbeitskreise aufbauend auf deren Erfahrung in einigen NATO-Ländern - besonders in der Bundesrepublik Deutschland und den Vereinigten Staaten - zusammengefaßt. In Form von Anhängen zu dem Bericht trugen die Vereinigten Staaten und Deutschland durch nationale Beiträge bei. Es werden sowohl die Unsicherheiten in der Vorhersage von Emissionen diskutiert als auch die notwendigen Informationen wie die wirtschaftliche Entwicklung, gültigen Regelungen, Überwachungstechnologien und die örtlichen Gegebenheiten angesprochen.

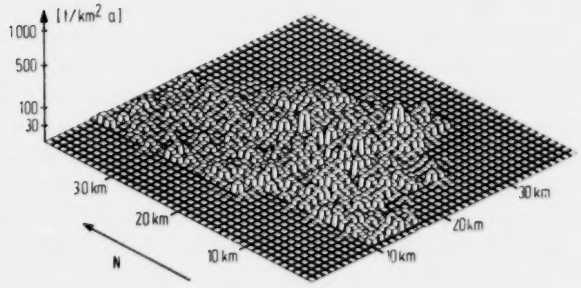


Figure 13 Annual emissions from private houses, business buildings and smaller industries. Nitrogen oxides (as NO_2) in t/a

Bild 13 Jahresemissionen der Emittentengruppe Hausbrand und Kleingewerbe. Stickstoffoxide (als NO_2) in t/a

Federal Republic of Germany and the United States of America are summarized. National contributions by the United States and Germany are included as appendices to the document. The uncertainties of forecasting emissions are discussed as well as the necessary information like economic development, regulations, control technologies and local data.

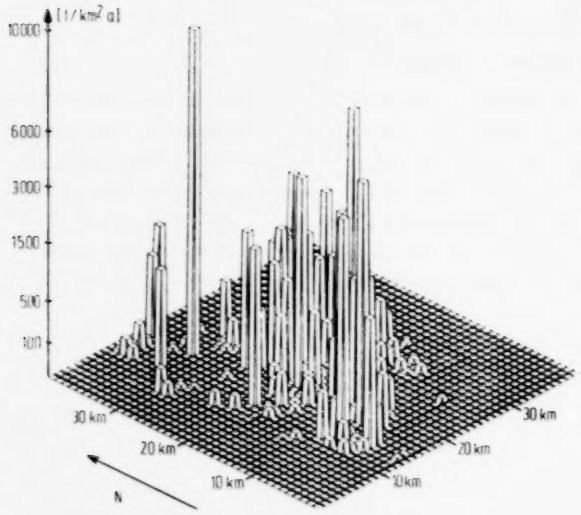


Figure 14 Annual emissions from the industry. Nitrogen oxides (as NO_2) in t/a

Bild 14 Jahresemissionen der Emittentengruppe Industrie. Stickstoffoxide (als NO_2) in t/a

Die folgenden Ausführungen mögen als Beispiel für die Vorhersage der Emissionen von Verkehrsmitteln dienen. Dabei ist zwischen fünf verschiedenen Fahrzeugtypen zu unterscheiden, die Hauptquellen von Verunreinigung sein können:

- Personenkraftwagen (LDV), d. h. Fahrzeuge, die am meisten für Emissionen aus dem Verkehrsbereich verantwortlich sind
- Lastwagen (LTD) mit einem Gesamtgewicht unter 4 t
- Lastwagen (HDV) mit einem Gesamtgewicht über 4 t
- schwere Dieselfahrzeuge (HDD)
- benzinbetriebene Motorräder (MC)

Die folgenden Anweisungen werden vorgegeben, um die Emissionen von Personenkraftwagen (LDV) zu prognostizieren: 1. Abschätzung der zukünftigen Fahrzeugleistung für alle fünf Fahrzeugtypen. Bestimmung dieser Daten für alle Prognosejahre. 2. Die Altersverteilung der Personenkraftwagen und der jährlichen Fahrleistung der Fahrzeuge jeder Altersgruppe muß untersucht werden, um entsprechende Emissionsfaktoren e_{np} wie folgt zu bestimmen:

$$e_{np} = \frac{\sum_i (c_i \cdot d_i \cdot f_i \cdot t_i)}{\sum_i f_i t_i}$$

wobei: i = Alter des Fahrzeuges, c_i = Emissionsfaktor für den entsprechenden Fahrzeugtyp mit dem Alter (i) bei geringer Fahrleistung, d_i = Emissionsfaktor für das Modelljahr (i) im Kalenderjahr (n) für die überwachte Luftverunreinigung (p), f_i = Anteil aller im Betrieb befindlichen Fahrzeuge des Alters (i), t_i = mittlere jährliche Fahrleistung des Fahrzeuges im Alter (i).

The following may demonstrate as an example the prediction of emissions resulting from transportation activity. There are five types of vehicles (highway vehicles) which are the major sources of pollution:

- Light-duty gasoline vehicles (LDV), i.e. automobiles, which account for most transportation emissions
- Light-duty gasoline trucks (LTD); i.e. less than 8500 pounds gross weight
- Heavy-duty gasoline vehicles (HDV); i.e. greater than 8500 pounds gross weight
- Heavy-duty diesel (HDD)
- Gasoline motorcycles (MC)

The following instructions are provided to project emissions for light-duty vehicles (LDV): (1) Obtain estimates for future county vehicle-miles-traveled for each of the five vehicles types from county transportation or highway studies. Determine the data for each projection year. (2) The age distribution of county LDV and the annual mileage driven by the vehicles of each age group must be considered to produce corresponding weighted emission factors e_{np} for LDV as follow:

$$e_{np} = \frac{\sum_i (c_i \cdot d_i \cdot f_i \cdot t_i)}{\sum_i f_i t_i}$$

where: i = age of vehicle, c_i = the federal test emission factor for the model year corresponding to vehicle age (i) at low mileage, d_i = the controlled pollutant (p) emission deterioration factor for model year (i) at calender year (n), f_i = fraction of total vehicles in use of age (i), t_i = average annual miles driven by vehicle of age (i).

3. Um die Emissionen für Personenkraftwagen zu projezieren, ist die mittlere Fahrleistung mit dem gewichteten Emissionsfaktor (e) und Korrekturfaktoren bezüglich der Geschwindigkeit notwendig.

Eine ähnliche Vorgehensweise zu der vorstehend beschriebenen ist für andere Verkehrsfahrzeuge wie Eisenbahnen, Flugzeuge und Schiffsverkehr anzuwenden.

Als Beispiel für eine Emissionsprognose diene Bild 15: die Entwicklung der Stickstoffoxidemissionen aus Kraftfahrzeugen unter Berücksichtigung der Entwicklung des Kraftfahrzeugbestandes und unterschiedlicher Stufen der Abgasgesetzgebung.

(3) To project emissions for LDV, multiply the baseline VMT by the weighted emission factors (e) and any speed correction factors necessary.

Procedures similar to those above are provided to project emissions from off-highway mobile sources, rail-roads, vessels, and aircraft.

As an example of an emissions forecast figure 15 may serve: the development of the nitrogen oxide emissions from automobiles and station wagons taking into account the development of car population and different steps of air pollution control measures.

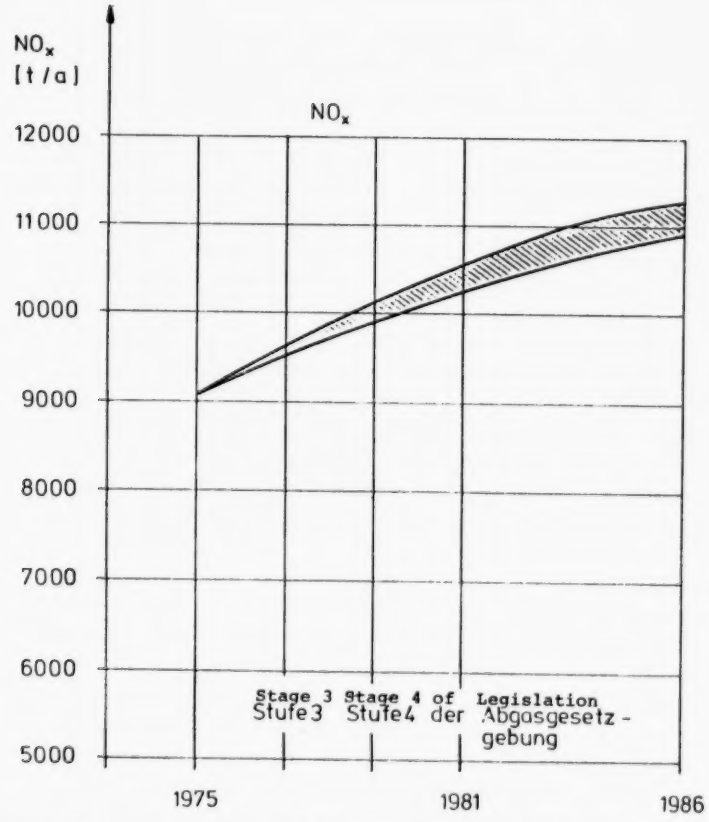


Figure 15 Annual emissions of nitrogen oxides of motor vehicles (private cars and station wagons) in the Duisburg area.

Bild 15 Jahresemissionen an Stickstoffoxiden der Personen- und Kombinationskraftwagen im Belastungsgebiet Ruhrgebiet West (Duisburg)

Arbeitskreis Ausbreitungsmodelle

Sechs Berichte des Arbeitskreises Ausbreitungsmodelle geben die Entwicklung und Anwendungsfähigkeit von Mehrquellen-Simulationsmodellen (Gauß'sche Abgasfahnentyp) wieder.

Der erste Bericht (Einführung in die Simulation der Ausbreitung von Luftverunreinigungen) führt in die Ziele von Ausbreitungsmodellen ein. Es wird ein allgemeiner Überblick über Methoden, die prinzipiell angewendet werden können, und über Probleme, die bei der Ausbreitungssimulation zu erwarten sind, gegeben. Es ergeben sich jedoch immer noch Differenzen zwischen den Ergebnissen aus Ausbreitungsexperimenten und Modellrechnungen, wie dem Bild 16 zu entnehmen ist.

Ein zweiter Bericht (Anwendung von Anforderungen an Ausbreitungsmodelle) gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Simulationsmodelle und der Probleme bei deren praktischen Anwendung. Der Entwicklungsgrad unterschiedlicher städtischer Simulationsmodelle kann im Hinblick auf den vorgesehenen Anwendungsbereich der Tabelle 1 entnommen werden. Die derzeitige Anwendung in verschiedenen Ländern ist in Tabelle 2 dargelegt. Konsistente Langzeitausbreitungsmodelle können Informationen über die Entwicklung der Luftverunreinigung über Jahre geben. Jedoch ist die Interpretation dieser Entwicklung wegen der Quellenverteilung, der Änderung der Brennstoffzusammensetzung und des Verbrauches, aufgrund der Durchführung von Überwachungsmaßnahmen und der jährlich sich ändernden Wetterbedingungen sehr schwierig. Durch statistische Analysen und die Anwendung von Langzeit-Ausbreitungsmodellen wurde festgestellt, daß der Einfluß dieser Faktoren auf die Entwicklung festgestellt werden kann. Solche Analysen können die Basis für ein rationelles Luftreinhaltesystem bieten, sofern die Ursachen für die Trends in der Vergangenheit als Grundlage

Modeling Panel

Six documents of the MODELING PANEL reflect the development and applicability of multiple source air quality models (Gaussian plume models).

The first document (Introduction to Air Quality Modeling) introduces to the aims of air quality models. It, more generally, reviews methods to be used in principle and problems to be expected when modeling air pollution. But there are still many differences between the results from diffusion experiments as can be seen from figure 16.

A second document (Uses and Needs for Air Quality Modeling) reviews the status and current uses of air quality simulation models and problems encountered in their practical application. The stage of development of different types of urban air quality simulation models with respect to given scopes of application can be seen from table 1. The application in various countries is demonstrated by table 2. Consistent, long-term air quality monitoring can provide information concerning air quality trends over the years. However, the interpretation of the trend data is complicated by the redistribution of sources, changes in fuel characteristics or consumption, implementation of control programs and year-to-year variations in weather conditions. Several investigators have found that these factors can be separated by the judicious use of statistical analyses and long-term air quality models. Such separation can provide the basis for a "rational air quality mangement program" since an understanding of the causes of past trends can provide a foundation for projecting future air quality and the needed degree of control. Similarly, models have been used to eliminate weather factors from studies of changes in air quality during periods of extensive fuel shortages and fuel con-

für die zukünftige Entwicklung der Luftsituation und die notwendige Überwachungsmaßnahmen verwendet werden können. In ähnlicher Form haben Modelle angewendet werden können, um den Einfluß von Wetterfaktoren zu bestimmen, indem Untersuchungen bezüglich der Änderung der Luftqualität während Zeiten starker Brennstoffknappheit erfolgten. Auch vereinfachte Modelle wurden verwendet, um die Entwicklung der Luftqualität abzuschätzen.

Zwei weitere Berichte (Bibliographie der Grauen Literatur) beabsichtigen, einen Überblick über die verfügbare Literatur über angewandte (hauptsächlich Gauß'-Modelle) und neue Ausbreitungsmodelle in Form einer Zusammenstellung sogenannter Grauer Literatur zu geben. Sie sollen den Modellentwicklern und Anwendern helfen, Literatur über bestimmte Elemente der Modelle zu finden, die nicht generell in Veröffentlichungen verfügbar ist. Die Tabelle 3 gibt die Zahl der Veröffentlichungen je Land wieder die in diesen Berichten zusammengefaßt sind.

Ein fünfter Bericht (Grundlagen für die Anwendung eines Gauß'schen Abgasfahnenmodells) stellt die Möglichkeiten, die Anwendbarkeit und Grenzen dieses speziellen Modells zusammen, mit dem die Luftqualität simuliert werden kann. Weiterhin wird dargestellt, welche Daten für Ausbreitungsmodellrechnungen notwendig sind. Das Ziel der Anwendung der Gauß'schen Ausbreitungsgleichung ist es, die Konzentration von Luftverunreinigungen an bestimmten Aufpunkten zu bestimmen. Die Luftqualität kann grob durch die räumlich oder zeitlich gemittelte Konzentration von Luftverunreinigungen beschrieben werden. Im Rahmen einer detaillierteren Beschreibung werden Summenhäufigkeitsverteilungen der Konzentrationen beschrieben, die während bestimmter Zeiten (Stunden des Jahres) für verschiedene repräsentative Aufpunkte oder Flächen überschritten werden. Häufig-

versions. Rudimentary models also have been used to normalize air pollution data for evaluating trends in air quality.

Two further documents (Bibliography on Grey Literature) intend to give a summary of literature on applied (mainly gaussian plume) models and new modeling techniques in form of a bibliography of so-called grey literature. They shall help modelers and users to trace literature on several subjects not being generally available in the open literature and to the public. In table 3 the absolute numbers of publications per country are given as they had been compiled in the documents.

Table 3: Number of publications per country in part I and part II of the bibliography on grey literature

Tabelle 3: Zahl der Veröffentlichungen der einzelnen Länder in den Teilen I und II der Bibliographie über graue Literatur

Country	Part I (Gaussian Plume Models)	Part II (New Modeling Techniques)
Austria	7	-
Belgium	12	-
Canada	-	-
Denmark	2	-
EEC	1	-
Germany	40	12
Finland	1	-
Italy	6	13
The Netherlands	21	-
Norway	10	3
United Kingdom	1	1
United States	57	51
Szitzerland	2	-

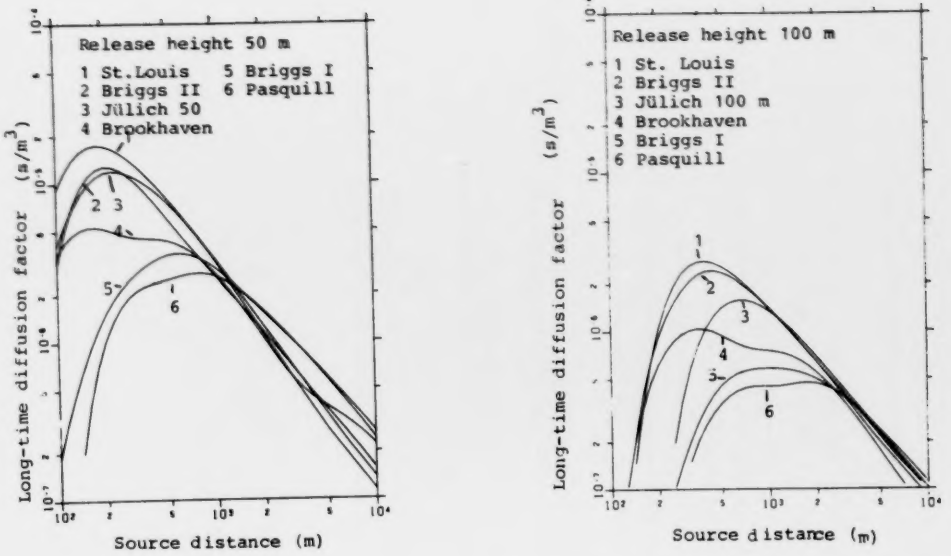


Figure 16: Long-time diffusion factor (integrated over all wind directions) as a function of source distance for different diffusion parameter systems (calculated with the meteorological statistics of Jülich)

Bild 16: Langzeitausbreitungsfaktor (über alle Windrichtungen) in Abhängigkeit der Entfernung für verschiedene Systeme der Ausbreitungsparameter (berechnet mit der meteorologischen Statistik von Jülich).

Tab. 1 **Entwicklungs- und Erprobungsgrad verschiedener Typen von Ausbreitungsmodellen im Hinblick auf vorgegebene Anwendungsbereiche**

Table 1 **Stage of development of different types of urban air quality simulation models with respect to given scope of application**

Modelltyp / Type of model \ Anwendungsmöglichkeit / Applicability	Immissionsklimatologische Untersuchungen; ebenes Gelände (Genehmigungsverfahren, Luftreinhalteplan) Long-term air quality studies for emission licensing procedure; clean air plan)	Immissionsklimatologische Untersuchungen; topographisch gegliedertes Gelände (Genehmigungsverfahren unter Berücksichtigung der Topographie) Long-term air quality studies for topographic terrain (licensing procedure under consideration of topography)	Kurzfristvorhersage (Fallstudien, Episodenanalyse) Short-term predictions (case studies, analysis of episodes)	Kurzfristvorhersage (Ursachenanalyse durch Vergleich mit Immissionsmessungen) Short-term predictions (analysis of causes by iterative comparison with concentration measurements)	windschwache, austauscharme Wetterlagen (Smogalarmplan; Gemeinschaftsplan); für Regionen mit hohem Anteil an windschwachen Wetterlagen) Weak-wind weather situations (smog warning plans; licensing procedures for areas with frequent weak-wind situations)	Ausbreitung von Verkehrsemissionen in Straßenschluchten Dispersion of automobile emissions in street canyons	Einbeziehung chemischer und photochemischer Reaktionen (Smogalarmplan, Luftreinhalteplan) Inclusion of chemical and photochemical reactions (smog warning plan; clean air plan)	Einbeziehung von Stäuben (z. B. Ausbreitung von Stäuben, Luftreinhalteplan) Inclusion of dust emission (e.g. dispersion of particles; clean air plan)	Ausbreitung schwerer Gase (z. B. explosibler Gemische; Kaltluftströmungen) Dispersion of heavy gases (e.g. explosive mixtures; cold air flow)
GAUSSsches plume-Modell Gaussian plume-model	4	–	2	2	–	–	(2)	(2)	–
Integriertes GAUSSsches puff-Modell + quasianalytische Modelle Integrated Gaussian puff-model + quasi-analytical models	2	2	2	0	2	–	(0)	(0)	–
Multiple Box-Modelle Multiple box-models	2	1	3	1	2	2	2	2	0
Gitter-Modelle Grid-models	1	0	2	0	2	2	1	0	0
Spektral- und Pseudospektral-Modelle Spectral and pseudospectral models	0	0	1	0	0	–	0	0	0
Stochastische Modelle Stochastic models	0	0	1	0	1	1	1	0	0

Legende:

0 Anwendung grundsätzlich möglich
1 Gegenstand der Forschung
2 in Einzelfällen angewandt
3 allgemein erprobt
4 für eine verwaltungsgerechte Anwendung standardisierbar
– nicht anwendbar
( ) unter Verwendung vereinfachter Zusatzannahmen anwendbar

Key:

0 Application is possible in principle
1 Subject of research
2 Has been applied in individual cases
3 Generally tested
4 Suitable for standardization for administration purposes
– Not applicable
( ) Applicable under use of simplifying additional assumptions

Tabelle 2: Modell Anwendung in verschiedenen Ländern

	Belgien	Kanada	Dänemark	Finland	Frankreich	Deutschland	Italien	Niederlande	Norwegen	Schweden	Großbritannien	USA
A. Analyse der Entwicklung der Luftqualität	x	x			x	x	x	x	x		x	x
B. Bestimmung bestehender Luftqualität in Vielquellen-Räumen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1. Zeitliche und räumliche Struktur	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Analyse von Datenfehlern			x	x	x	x	x		x	x		x
3. Ursachenanalyse (Quellen)	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x
4. Extremfallbetrachtung	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
C. Schornsteinhöhenberechnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
D. Unterstützung von Wirkungs- und Wirtschafts-Studien	x			x	x	x			x	x	x	x
E. Auswahl von Grenzwerten										x		x
F. Umwelteinwirkungen	x	x				x	x		x	x		x
G. Einhalten von Grenzwerten	x		x	x	x	x	x			x	x	x
1. Auslegung von Meßnetzen		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Festlegen von Überwachungsmaßnahmen	x		x		x	x						x
3. Genehmigung und Regelwerke												x
4. Unterstützung von Überwachungssystemen						x	x	x				x
5. Städtische	x					x	x					x
H. Störfallfreisetzung toxischer Stoffe	x						x		x			x

Table 2: Model Applications in Various Countries

	Belgium	Canada	Denmark	Finland	France	Germany (FRG)	Italy	Netherlands	Norway	Sweden	U. K.	U. S.
A. Historical Air Quality Trends Analysis	x	x			x	x	x	x	x		x	x
B. Characterization of Existing Air Quality in Multi-Source Areas												
1. Temporal and Spatial Air Quality Patterns	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Data Base Error Diagnosis			x	x	x	x	x		x	x		x
3. Identification of Source Contributions	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x
4. Identification of Worst-Case	x	x			x	x	x	x	x		x	x
C. Stack Height Calculations	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
D. Support for Effects and Economic Studies	x			x	x	x			x			x
E. Selection of Air Quality Standards										x		x
F. Environmental Impact Statements	x	x				x	x		x	x		x
G. Attainment of Air Quality Standards												
1. Monitoring Network Design	x		x	x	x	x	x		x	x		x
2. Formulation of Control Policies		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3. Licensing and Regulation	x		x		x	x	x		x	x		x
4. Supplementing Control Systems					x	x	x	x				x
5. Urban Alert Systems	x				x	x	x	x				x
H. Accidental Releases of Toxic Substances	x					x	x		x			x

keitsverteilungen dieser Art können ermittelt werden, indem die Gauß'sche Ausbreitungsgleichung für alle möglichen meteorologischen Situationen wiederholt angewendet wird. Die meteorologischen Situationen werden dabei durch die Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Turbulenzsituation der Atmosphäre beschrieben. In der Praxis sind die Emissionen nicht konstant, d. h. die Quellen emittieren nur einige Stunden pro Tag. Hingegen beschreibt die dreidimensionale Häufigkeitsverteilung der meteorologischen Daten das Gesamtjahr (8760 Stunden). In solchen Fällen ist eine Überlagerung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens der meteorologischen Situation mit der Wahrscheinlichkeit des Emissionszustandes erforderlich, um die Häufigkeitsverteilung der Konzentrationen und damit die Luftqualität zu beschreiben.

Ein weiterer Bericht (Praktische Anwendung eines städtischen Ausbreitungsmodells) faßt die Erfahrungen zusammen, die während einer Vergleichsuntersuchung gewonnen wurde. Die Eigenschaften der eingesetzten Modelle und die Ergebnisse von Berechnungen werden beschrieben. Insgesamt wurden 16 Modellrechnungen in Belgien, Deutschland, Italien, den Niederlanden, Norwegen, den Vereinigten Staaten und der Schweiz innerhalb dieses Vergleiches durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit und die Bedeutung, die Eingangsparameter (Emissions- und meteorologische Daten) klar zu definieren, um mit den Modellrechnungen vergleichbare Resultate zu erhalten. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde ein komplettes SO_2-Emissionskataster für Frankfurt (Main) eingesetzt, um die SO_2-Konzentration in diesem Raum zu berechnen. Die Modellrechnungen stimmten mit den Meßdaten in der Tendenz überein. Bild 17 zeigt die mit einem Modell berechnete SO_2-Konzentrationsverteilung. Zum Vergleich ist die gemessene SO_2-Konzentrationsverteilung aus den Jahren 1965 - 1968 in Bild 18 angegeben.

A fifth document (Fundamentals for the Application of a Gaussian Plume Model) gives information on the capabilities, applicability and limitations of this special model to calculate air quality as well as it refers to several data being necessary for model calculations. The aim of applying the Gaussian plume equation is to calculate the air quality at certain receptor points. The air quality or the air pollution load can be described very roughly by the concentration of air pollutants averaged over time or space or both. A more detailed description is accomplished by giving the cumulative frequency distribution of concentrations being exceeded during certain times (hours of a year) for different representative receptor points or areas. Frequency distributions of this type can be determined by repetitively applying the Gaussian plume equation for all possible meteorological situations characterized by wind direction, wind speed and turbulence conditions of the atmosphere. In practical cases the emissions are not constant, i. e. sources may be active for several hours per day. The joint frequency distribution of the meteorological data, however, represents the whole year (8760 hours). In such cases a superposition of the probability of the combination of meteorological data and the probability of the emission status can be performed to determine the frequency distribution of concentrations and thus the air quality.

Another document (Practical Demonstration of Urban Air Quality Simulation Models) summarizes the experience gained during a comparative examination. The characteristics of the models involved and the results of these calculations are described. 16 model calculations performed in Belgium, Germany, Italy, The Netherlands, Norway, The United States and Switzerland were involved in this comparison, the results of which show the importance and necessity of clearly defining the input parameters (emissions and meteorological data) to the models to receive

Unter Berücksichtigung, daß die Messungen 10 Jahre zurückliegen und daß die Rechnungen eine Vorbelastung durch Quellen von außerhalb des Untersuchungsraumes nicht enthalten, kann in der Tendenz von einer Übereinstimmung gesprochen werden. Die unterschiedlichen Modelle, die in den verschiedenen NATO-Ländern in Gebrauch sind, zeigten recht ähnliche Ergebnisse, wie dies der nebenstehenden Matrix der Korrelationen im Untersuchungsraum zu entnehmen ist. Hierfür wurden die mit 11 Modellen errechneten Konzentrationen an 36 Aufpunkten, die im Stadtgebiet liegen, herangezogen.

Der Korrelationskoeffizient gibt an, wie gut zwei miteinander verglichene Modelle das jeweilige Konzentrationsfeld berechnen können. Ein Korrelationskoeffizient von 1.0 bedeutet völlige Übereinstimmung der Ergebnisse, ein Wert von 0.9 bedeutet sehr gute Übereinstimmung und 0.5 besagt, daß eine Korrelation - wenn auch nur eine schwache - besteht. Mit Ausnahme des Modells Nr. 5 zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung der Modellergebnisse.

Aus der Vergleichsuntersuchung können folgende Schlüsse gezogen werden:

- die Lage des Maximums der Konzentrationen wird sowohl durch die Messungen wie auch durch die meisten Modelle sehr gut wiedergegeben; diese Lage kann leicht durch die starke Abhängigkeit des Konzentrationsfeldes von der Bevölkerungsdichte abgeleitet werden
- die Höhe der Konzentrationen im Maximum unterscheidet sich in gleicher Weise beim Vergleich der Messung mit den Modellrechnungen wie die Modellrechnungen untereinander

comparable results. During these investigation a complete SO_2-emissions inventory of Frankfurt (Main) was used to calculate the ambient air SO_2-concentration in this area. Model calculations fitted measured data favourably. Figure 17 represents the SO_2-concentration calculated with one model. For comparison figure 18 shows the measured SO_2-concentrations during the years 1965 - 1968. Taking into account that the measurements are from about 10 years ago and that the calculations do not include a basis load from sources outside of the region under study the qualitative agreement can be expressed as favourable. The different models in use in the different NATO countries showed quite equivalent results as can be seen from the following tabulation of the correlation matrix. The correlation coefficients were evaluated by investigating the calculated concentrations with 11 models at 36 sites in the city under study.

model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2	.88										
3	.86	.88									
4	.86	.84	.91								
5	.67	.48	.44	.45							
6	.94	.86	.84	.84	.67						
7	.93	.90	.87	.87	.61	.91					
8	.94	.89	.89	.90	.60	.94	.95				
9	.94	.86	.88	.89	.66	.92	.94	.96			
10	.95	.85	.77	.76	.71	.93	.90	.91	.91		
11	.88	.77	.82	.81	.59	.80	.84	.87	.92	.84	
12	.78	.83	.91	.84	.40	.81	.79	.87	.80	.73	.72

The correlation coefficient of the results of two models indicates how much the concentration patterns ressemble each

Figure 17: Model Results for SO_2 Concentration (averages) in the Frankfurt Area.

Bild 17: Ergebnisse der SO_2-Konzentrationsberechnung (Mittelwerte) im Raum Frankfurt.

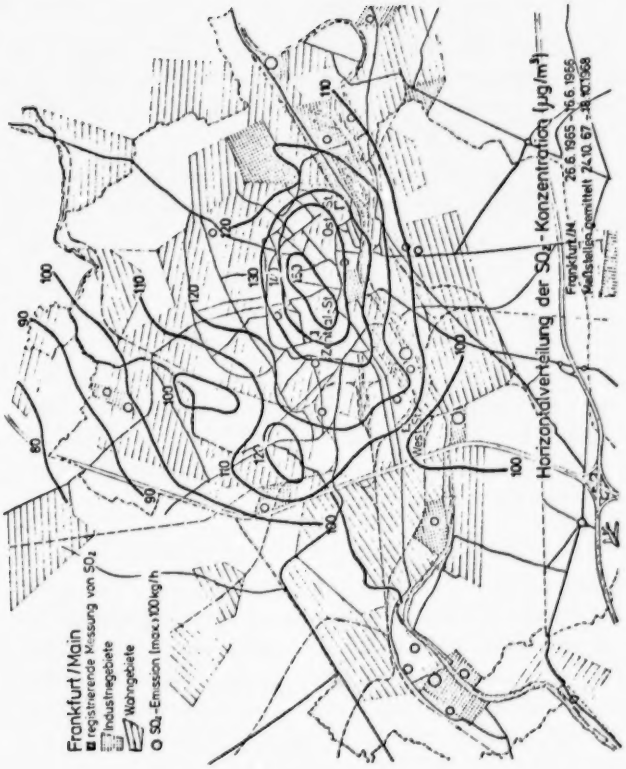


Figure 18: Measured SO_2-Concentration (averages) in the Frankfurt Area.

Bild 18: Gemessene SO_2-Konzentration (Mittelwerte) im Raum Frankfurt.

- die Isolinien gleicher Konzentrationen entsprechend den beiden Hauptwindrichtungen ist sowohl bei dem Messungen wie auch bei den meisten komplexeren Modellen anzutreffen
- nahezu alle Modelle zeigen einen zu starken Abfall der Konzentration von der Stadtmitte zu den Randgebieten gegenüber den Messungen, die ihrerseits von den Emissionen der Umgebung bestimmt werden

Aufgrund dieses Vergleichs einiger Ergebnisse von Ausbreitungsmodellrechnungen mit verfügbaren Meßwerten können

- erste Rückschlüsse bezüglich der Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen der Gauß'schen Abgasfahnenmodells und
- einige Hinweise in bezug auf die Streubreite der Berechnung von SO_2-Jahresmittelwerten der Konzentration erhalten werden. Andererseits muß aber festgestellt werden, daß einige Eigenheiten des Konzentrationsfeldes nicht oder nur schwierig zu erklären sind. Dies betrifft sowohl die gemessenen als auch die berechneten Konzentrationsverteilungen

Die Möglichkeit, Ausbreitungsrechnungen durchzuführen, hängt von der Verfügbarkeit der entsprechenden Eingangsdaten, der repräsentativen Ausbreitungsparameter und ausreichender meteorologischer Daten ab. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die erforderlichen Daten, um Ausbreitungsrechnungen durchführen zu können:

Emissions- und Quellendaten:

- zu untersuchende Luftverunreinigung
- Quellkoordinaten, d. h. geographische Lage
- Quellabmessungen, d. h. Höhe und Austrittsquerschnitt

other. A correlation coefficient of 1.0 represent identity of the model results; a value of 0.9 is a very good agreement and 0.5 means that there is a less good correlation. All models compare quite well except model 5.

The following conclusions can be drawn from the comparative examination:

- the position of concentration maxima is reproduced quite well by measurements and by most of the models, which can easily be explained by the strom dependency of the concentration field upon population density
- the absolute value of the concentration maxima differs by comparison between measurement and model calculation in the same order as the deviations between the models among oneanother
- the orientation of concentration isolines into the direction of the two main wind direction is found as well in the measurements as in most of the more complicated models
- nearly all models show a city-center to suburb gradient being too large, when compared with measurements, the degree of which depends on the respective emission fields in the surrounding

On the basis of this comparison of several model results with available measurements

- first hints could be found concerning the capabilities and the limits of applicability of Gaussian plume models and
- some hints concerning the error band width for the annual mean SO_2-ground-level concentrations. On the other hand,

- Ablufttemperatur
- Massenstrom der Luftverunreinigung aus der Quelle
- Abgasmenge
- Zeitabhängigkeit der Emission, d. h. Zeitdauer, Häufigkeit bezüglich der täglichen und jahreszeitlichen Abhängigkeit, sofern erforderlich

Transport- und Verteilungsdaten:

- mittlere Windrichtung
- mittlere Windgeschwindigkeit
- Beschreibung des Turbulezzustandes der Atmosphäre
- Mischungsschichthöhe, z. B. Höhe der Inversionsschicht
- Umgebungstemperatur (für die Berechnung der Abgasfahnen-überhöhung)
- kombinierte Häufigkeitsverteilung mindestens der drei ersten meteorologischen Parameter
- vertikale und horizontale Ausbreitungsparameter, die die charakteristische Turbulenzsituation beschreiben

Aus Emissionen und meteorologischen Daten abgeleitete Größen:

- mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit, die repräsentativ für die Überhöhung der Abgasfahne und für die Ausbreitungsschicht sind
- Abgasfahnenüberhöhung

Daten der Aufpunkte:

- geographische Lage des Gebietes oder definierte Aufpunkte, für die die Luftqualität zu ermitteln ist
- Maschenweite der Aufpunkte innerhalb eines zu betrachtenden Gebietes

Die Emissions- und Quellendaten werden für die zu betrachtenden Quellen und Luftverunreinigungen verfügbar sein, sofern ein umfangreiches Emissionskataster durchgeführt wurde (vgl. hierzu den Bericht Emissionskatastersystematik). Abhängig vom

it has to be confessed that there are still several phenomena which cannot be explained or can be explained only with difficulties, as well in the calculated as in the measured concentration fields.

The ability to perform diffusion calculations depends on the availability of appropriate input data, representative dispersion parameters and sufficient meteorological information relevant to the diffusion process. The following check list gives a survey of the data necessary to perform calculations:

emission and source data:

- air pollutant to be investigated
- source location, i.e. geographical coordinates
- source dimensions, i.e. height and exit diameter
- exhaust gas exit temperature
- mass flow rate of air pollutant from the source
- volumetric flow rate of the total exhaust gas
- time dependence of pollutant emission rate, i. e. duration, frequency as well as diurnal and seasonal dependence, if applicable

transport and dispersion (meteorological) data:

- average wind direction
- average wind speed
- description of turbulent structure of the atmosphere, e. g. atmospheric stability
- mixing height, e. g. height of inversion layer
- ambient air temperature (for plume rise calculations)
- joint frequency distribution of at least the first three meteorological parameters
- vertical and horizontal dispersion parameters representative of characteristic turbulence situations

Grad der Detailliertheit des Emissionskatasters können mehr oder weniger umfangreiche Informationen über die Zeitabhängigkeit der Emissionen entnommen werden. Prinzipiell sollten alle Daten verfügbar sein. Die meisten der meteorologischen Daten können durch den nationalen Wetterdienst zur Verfügung gestellt werden. Sehr häufig sind Winddaten jedoch nur als momentane Werte verfügbar. Das Gauß'sche Abgasfahnenmodell benötigt andererseits jedoch zeitlich gemittelte Werte der Winddaten sowie die kombinierte Häufigkeitsverteilung von Windrichtung, -geschwindigkeit und Turbulenzzustand. In solchen Fällen, in denen die Mischungsschicht begrenzt ist, sollte die entsprechende Information (z. B. die Höhe der Inversionsschicht) angegeben werden; sie ist im ausreichenden Detail jedoch nur selten verfügbar.

Ein wesentliches Problem tritt auf, wenn eine Entscheidung über die Auswahl entsprechender Ausbreitungsparameter, der Überhöhungsformel oder sonstiger für die Windgeschwindigkeitsmittelung erforderlichen Parameter getroffen werden müssen. Obwohl zahlreiche Ausbreitungsparameter veröffentlicht wurden, kann ein fester Satz von Parametern nicht empfohlen werden. Die folgenden Kriterien können dazu dienen, eine Entscheidung über den am besten zutreffenden Satz von Ausbreitungsparametern für das spezielle Problem zu treffen.

Es ist der Parametersatz auszuwählen, der experimentell gewonnen wurde

- in einer Klimaregion und in einem Gebiet, das dem untersuchten Gebiet und der Geländestruktur so ähnlich wie möglich ist
- innerhalb eines Quelle/Aufpunkt-Abstandes der den zu untersuchenden Verhältnissen am ähnlichsten ist
- an einer Quelle gewonnen wurde, der Höhe der untersuchten Quelle sehr ähnlich ist

data derived from emission and meteorological information:

- averaged transport speeds representative of the range of plume rise and of the total layer of dispersion
- plume rise estimate

data for the receptor points:

- geographical location of the area or the defined receptor points where the air pollution is to be calculated
- grid size for receptor points in order to be representative of a whole area.

The emission and source data will be available for the sources and air pollutants under consideration if a comprehensive emissions inventory is performed (refer to document "Emissions Inventory Systems"). Depending on the degree of detail in the emissions inventory, more or less precise information can be extracted on the time dependence of the emissions. In principle all data should be available. A lot of the meteorological data can be supplied by the national weather services. Very often, however, wind data are only available as instantaneous values. The Gaussian plume model, on the other hand, needs time-averaged values as well as the joint frequency distributions of wind speed, direction and turbulence. In cases where frequent limited mixing is expected the corresponding information (e. g. height of the inversion layer) is required but is rarely available in sufficient detail.

A great problem will arise when decisions have to be made concerning the selection of diffusion parameters, plume rise formulas or parameters to be introduced into wind speed averaging methods. Though there are many sets of diffusion parameters published the best set cannot be recommended. The following criteria are provided therefore to support a decision on the most representative set of diffusion parameters for a specific problem:

Aus diesen Gründen sollte a) ein Parametersatz, der über sehr ebenem Gelände mit geringer Bodenrauhigkeit gewonnen wurde, nicht für Quellen in städtischem oder stark industrialisiertem Gebiet angewendet werden und b) die Extraprolation der Parameter außerhalb des Entfernungsbereiches, für den sie gemessen wurden, sollte nicht durchgeführt werden.

Viele Überhöhungsformeln wurden in der Vergangenheit veröffentlicht, jedoch kann nicht einheitlich entschieden werden, welche Formel die beste ist. Die Auswahl hängt von der speziellen Anwendung sowie der Erfahrung des einzelnen mit den unterschiedlichen Formeln ab. So kann eine Überhöhungsformel, die eine Tendenz zur Unterschätzung der tatsächlichen Abgasfahnenüberhöhung neigt, für Ausbreitungsberechnungen hochtoxischer Stoffe dann verwendet werden, wenn eine ausreichende Sicherheit (z. B. Genehmigungsverfahren) gefordert wird. Eine Überhöhungsformel, die die tatsächliche Überhöhung am besten beschreibt, sollte bei Fragen der Ursachenanalyse angewendet werden. Am besten und detailliert beschrieben wird die Überhöhung von Abgasfahnen, wenn der Turbulenzzustand der Atmosphäre berücksichtigt wird.

Da das Windgeschwindigkeitsprofil im allgemeinen nicht bekannt ist, werden Methoden angewendet, die Windgeschwindigkeit von der Meßhöhe auf größere Höhen zu extrapolieren. Anschließend wird dann über den entsprechenden Höhenbereich der Ausbreitung gemittelt. Es gibt Formeln, die die Windgeschwindigkeit für verschiedene Turbulenzsituationen in großen Höhen abschätzen lassen; es darf jedoch nicht verkannt werden, daß jede Turbulenzsituation auch durchaus unterschiedliche Windgeschwindigkeitsprofile zeigen kann.

Select the parameter set that has been determined experimentally

- in a climatic region and a terrain that is as equivalent to the region and the terrain under investigation as possible
- within a source-receptor distance range equivalent to the actual range of source receptor distance
- at a source whose height is closest to that of the source under consideration.

Therefore a) parameter sets determined over very flat terrain with very little roughness should not be used for sources in urban or strongly industrialized regions and b) the extrapolation of parameter sets far outside of the distance range over which they were measured should not be done.

Many plume rise formulas have been published in the past. However, it cannot be uniquely decided which one is the best and the choice depends on the particular application as well as one's experience with the different formulas. For example, a plume rise formula that tends to underestimate the real plume rise may be used for calculations of the dispersion of highly toxic substances where a safety margin should be allowed. A plume rise formula that describes best the mean real plume rise but with a larger scatter (uncertainty) may be used during applications of the model e. g. for cause analysis. The most accurate description of the plume rise takes the turbulent state of the atmosphere into account.

Since the vertical profile of wind speed is not generally available, methods have to be used to extrapolate the wind speed measured near the ground to larger heights and then to average over an appropriate height range. There are formulas available to estimate the wind speed at greater heights

In bezug auf die Aufpunkte bedarf es einer gewissenhaften Wahl der Aufpunkte, damit diese die zu betrachtende Region ausreichend repräsentieren oder daß ein ausreichend engmaschiges Netz von Aufpunkten festgelegt wird, um die Struktur der Konzentrationsverteilung im gesamten Gebiet so gut wie möglich wiederzugeben.

Neben der Vorbereitung der vorgenannten Berichte hat der Arbeitskreis Ausbreitungsmodelle internationale technische Treffen über Ausbreitungsmodelle und deren Anwendung organisiert. Das Ziel dieser Treffen war und ist, die neuesten Informationen vorzustellen und die Erfahrungen auf dem Gebiet der Ausbreitungsmodelle auszutauschen. Wissenschaftler aus mehr als 10 NATO und einigen anderen Ländern haben mit mehr als 50 Vorträgen alljährlich zu diesen Symposien beigetragen. Ungefähr 100 Teilnehmer haben den Erfahrungsaustausch gepflegt. Alle Vorträge sind in fünf Berichten zusammengestellt. Für diese Treffen wurde ein Hauptthema ausgewählt, daß während eines Tages vorgetragen und diskutiert wurde. Den beiden anderen Tagen waren drei oder vier weitere Themen gewidmet, wie

- Überregionaler Transport und Umwandlungen
- Modellüberprüfung (Verifizierung)
- neue Ausbreitungsmodelltechniken
- Ausbreitung von Luftverunreinigungen aus hohen Einzelquellen
- Modelle für die Ausbreitung bei windschwachen Situationen
- Anwendungen und Erfahrungen

Drei Beispiele (Bilder 19 und 20) mögen einen Eindruck über die Ergebnisse von Ausbreitungsmodellrechnungen vermitteln, die während einem der internationalen technischen Treffen vorgetragen wurden. Bild 19 gibt die Ergebnisse der SO_2-Niederschlagsberechnung auf der Basis europäischer Emissionen wieder. Bild 20 zeigt die berechneten und gemessenen SO_4-Konzentrationen in Europa für den 26. August 1974.

under different turbulence situations though it is known that each turbulence situation can exhibit great variability in the wind profile.

With respect to the receptor points, proper attention should be given to selecting defined receptor points so as to be representative of the area under consideration or to choose a narrow enough grid to reflect the structure of the air pollution load in a whole area as good as possible and necessary.

Further to the preparation of the aforementioned documents the MODELING PANEL acted as steering group for the International Technical Meetings on Air Pollution Modeling and its Application. The goal of the meetings is to present and exchange the newest information in the field of air pollution modeling. Experts from more than 10 NATO and some non-NATO countries contributed with more than 50 papers every year to these meetings. Nearly 100 participants exchanged their experience and ideas, all of which are or will be published together with the presented papers in five documents. For the meetings a main topic was selected for presentation and discussion for one whole day. The two other days were open for papers on 3 to 4 other topics such as

- transnational transport and transformations
- model validation
- new modeling techniques
- tall stack pollution dispersion
- low wind speed dispersion models
- application and experiences.

Two examples (figures 19 - 20) may give an impression of results of dispersion modeling having been presented during one of the International Technical Meetings. Figure 19 reflects the results of SO_2 deposition calculations on the basis of European emissions. Figure 20 shows the calculated (a) and measured (b) SO_4 concentrations in Europe at 26. August 1974.

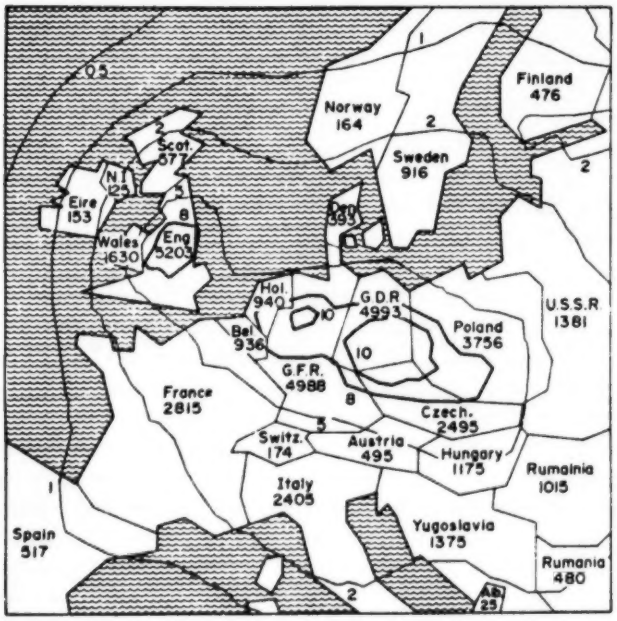


Figure 19: FISHER'S RESULTS FOR DRY PLUS WET DEPOSITION IN g SO_2/m^2y) FROM ALL THE EUROPEAN SOURCES SHOWN Diffusivity = 50 m^2/s; deposition velocity = 5 mm/s; maximum mixing depths = 1000 and 2000 m. Scavenging coefficient = 10^{-4}/s. Emission strengths for each country are shown in units of kilotons SO_2/y.

Bild 19: Fishers Ergebnisse der Rechnungen für trockene und nasse Ablagerung (in g SO_2/m^2a) für alle aufgeführten Europäischen Quellen. Wash-out Koeffizient = 50 m^2/s; Ablagerungsgeschwindigkeit 5 mm/s; maximale Mischungsschichthöhe = 1000 und 2000 m. Auswaschkoeffizient = 10^{-4}/s. Emissionsstärken der aufgeführten Länder in tausend Tonnen SO_2/a.

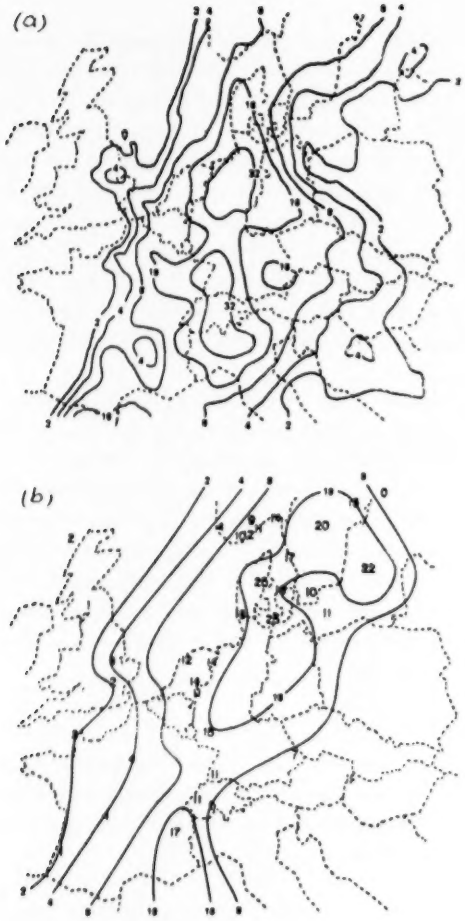


Figure 20: Calculated (a) and Measured (b) SO_4 concentration ($\mu g/m^3$) in Europe, August 26, 1974

Bild 20: Berechnete (a) und gemessene (b) SO_4 Konzentration ($\mu g/m^3$) in Europa für 26. August 1974

ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNGEN

Einige Bausteine einer Luftüberwachungsstrategie wurden bereits in zwei Leitstudien veröffentlicht. Diese Studien haben gezeigt, daß die Art der internationalen Zusammenarbeit, wie sie im CCMS gepflegt wird, besonders geeignet ist, diese Aufgaben im internationalen Rahmen zu bearbeiten. In vielen NATO-Ländern wurden inzwischen Erfahrungen gewonnen, die unter der Koordination der CCMS zusammengestellt wurde. Auf der Basis dieses Fortschrittes innerhalb der Rahmenarbeit der CCMS-Leitstudie Überwachung der Luftqualität kann angenommen werden, daß auch weiterhin erfolgreich gearbeitet werden kann, wenn die bereits bestehende Struktur von Arbeitsgruppen und Arbeitskreisen beibehalten wird.

Unterschiedliche Strategien der Luftreinhaltung wurden in den NATO-Mitgliedsstaaten entwickelt und zwar auf der Basis einheitlicher Prinzipien. In einigen Ländern wurden nationale Luftreinhaltepläne aufgestellt, während in anderen Ländern sich regionale oder örtliche Maßnahmenpläne als wirksam erwiesen. Spezielle Methoden der Ermittlung und Vorhersage der Luftqualität wurden für diesen Zweck entwickelt. Die angestrebten Maßnahmen der Verbesserung der Luftqualität in den verschiedenen Mitgliedstaaten wurden den Anforderungen und Möglichkeiten der nationalen Gesetzgebung angepaßt.

Die erste NATO-CCMS Luftreinhaltestudie (1969 - 1974) wurde mit der Veröffentlichung von Berichten über die Definition von Wirkungskriterien von Luftverunreinigungen sowie der Entwicklung von Ermittlungsmethoden zur Bestimmung der Luftqualität in städtischen Räumen beendet.

Die zweite NATO-CCMS Luftreinhaltestudie (1975 - 1979) arbeitete Grundlagen zur Erstellung von Emissionskatastern sowie zu

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Specific elements of the air pollution control strategy have already been published in two CCMS pilot studies. These studies have shown that the type of international cooperation employed in CCMS is particularly suitable for tackling these tasks on an international level. In many NATO countries experience has already been gathered which may be collected under the coordination of CCMS. On the basis of the progress made within the framework of the CCMS Pilot Study on Air Pollution Control, it may be assumed that further successful work is to be expected if the existing structure of the working groups and subgroups will be maintained.

In the NATO member countries, different strategies for air pollution control have been developed, yet on the basis of uniform principles. In several countries, national air pollution control plans have been developed, while in other countries regional and local plans are deemed to be efficient. Specific methods for assessing and forecasting air quality have been developed for this purpose. The measures envisaged for improving air quality in the various member countries have been adapted to the requirements and possibilities of the national legislation concerned.

The first NATO/CCMS air pollution study (1969 - 1974) resulted in documents about the definition of criteria for the effects of air pollutants which then were considered as significant as well as the development of assessment methods for air quality in urban areas.

The second NATO/CCMS air pollution pilot study (1975 - 1979) worked out the basics for setting up assessment methods for

Techniken der praktischen Anwendung von meteorologischen Ausbreitungsmodellen aus. Ein weiteres wesentliches Element bei der Arbeit der zwei NATO-CCMS Luftreinhalteleitstudien war die Entwicklung von Richtlinien für ein Luftreinhaltesystem (AQMS). Dieses System bietet den Rahmen für abministrative Entscheidungen zur Verhinderung ansteigender Luftverunreinigung bzw. zur Verbesserung der Luftqualität.

Ausgehend von den Erfahrungen und den Ergebnissen der zwei vorbeschriebenen Leitstudien haben die Fachleute der neun NATO-Mitgliedstaaten empfohlen:

a) daß die Mitgliedstaaten innerhalb einer neuen CCMS-Leitstudie und möglicherweise in Zusammenarbeit mit dem NATO-Wissenschaftsausschuß die vielschichtige Wechselwirkung von Verunreinigungen untersuchen und ermitteln sollen, d. h. unter anderem auch die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf das Wasser und das Land.

b) daß die Mitgliedstaaten im Rahmen einer neuen CCMS-Leitstudie die Ergebnisse und Entwicklungen von Ermittlungsmethoden, Referenzmethoden und vorhandenen Unterlagen sichten sollen, die dazu geeignet sind, neue und bessere Informationen über Luftverunreinigungen zu erhalten sowie die hohe Qualität und die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten. Dabei sollten die Methoden berücksichtigt werden, wie sie von der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der meteorologischen Organisation (WMO) und der internationalen Standardisierungsorganisation (ISO) angewendet werden.

c) daß die Mitgliedstaaten auch weiterhin die internationale Zusammenarbeit entsprechend den CCMS-Leitstudien bei der Entwicklung von neuen und fortgeschrittenen Modelltechniken

emission inventories as well as techniques for the practical application of meteorological diffusion models.

Another important element in the work of the two NATO/CCMS air pollution pilot studies was the development of guidelines for establishing of an Air Quality Management System (AQMS), the purpose of which is to provide a framework for governmental decisions aimed at the prevention of increased air pollution and the non-degradation or improvement of air quality.

Starting from the experiences and results of the two above described studies the cooperating experts from nine NATO member countries recommended:

a) That member nations, through a new CCMS pilot study and, perhaps in collaboration with the NATO Science Committee, study and assess the multimedia interchange of pollutants, i. e. the impact of air pollutants on the water and the land.

b) That member nations study, through a new CCMS pilot study, the results and development of assessment techniques, reference methods and materials, which may promote new and better information on air pollutants, as well as the assurance of high quality and comparability of data. Note should be taken of the methods endorsed by the World Health Organization (WHO), World Meteorological Organization (WMO) and the International Standards Organization (ISO).

c) That member nations consider further international cooperation, through the CCMS pilot study method, on the development of new and advanced modeling techniques in one or more of the following areas: (a) complex terrain, (b) diffusion of heavy gases which may be toxic or explosive,

in einem oder mehr der folgenden Felder fortführen sollen: a) unebenes Gelände, b) Ausbreitung schwerer toxischer oder explosionsgefährlicher Gase, c) Vorhersage von Konzentrationen von Luftverunreinigungen bei besonderen meteorologischen Bedingungen, d) physikalisch-chemische Reaktionen und Umwandlungen, e) grenzüberschreitender Transport von Luftverunreinigungen bis zu mehreren 100 km. In dieser Arbeit sollte die Bewertung und Vergleichsrechnungen verschiedener betrachteter Modelle sowie ein Erfahrungsaustausch einbezogen werden.

d) daß die Mitgliedstaaten im Rahmen einer neuen CCMS-Leitstudie die Entwicklung zusätzlicher Kriterien Dokumente über die Wirkung von Luftverunreinigungen auf die Umgebung und besonders auf historische Bauwerke sowie Methoden ihrer Erhaltung verfolgen sollen. Bei der Durchführung dieser Empfehlung sollte die entsprechende Arbeit der Weltgesundheitsorganisation einbezogen werden.

Ausgehend von den obigen Empfehlungen und unter Einbeziehung der praktischen Möglichkeiten empfehlen die zusammenarbeitenden Fachleute der Leitstudie "Ermittlungsmethoden und Modelle zur Ausbreitung von Verunreinigungen", eine neue Leitstudie über Luftverunreinigungen, Überwachungsstrategie und Wirkungsbetrachtungen wie folgt durchzuführen:

a) eine Arbeitsgruppe (oder Lenkungskreis) bereitet eine Richtlinie vor, die speziell von dem NATO-CCMS Dokument Nr. 71 (rev.), Richtlinie für Luftreinhaltesysteme, Gebrauch macht. Der neue Bericht sollte eine technische Richtlinie für die Einrichtung gegenwärtiger und zukünftiger Überwachungsstrategien, der Anwendung von Vorhersagemethoden und der Wirkungsmodellierung sein.

(c) forecasting of air pollution concentrations under episode conditions, (d) physical-chemical reactions and pollutants sinks, (e) interregional transport of air pollutants up to several hundred kilometers. Included in this work should be the validation and testing of the models considered and an exchange of experiences and data bases.

d) That member nations consider, through the mechanism of a new CCMS pilot study, the development of additional criteria documents on the impact of air pollutants on the environment, esp. on historical monuments and of methods for its conservation. In carrying out this recommendation member nations should take note of the related work done by the World Health Organization.

Proceeding from the above recommendations and taking into consideration the practical possibilities, the cooperating experts of the Air Pollution Pilot Study on Assessment Methodology and Modeling propose a new pilot study on Air Pollution, Control Strategies and Impact Modeling:

a) A working group (or steering committee) prepares a guideline document, making use esp. of the NATO/CCMS document No. 71 (rev.), Guidelines to Air Quality Management Systems. The new document is expected to be a technical guideline for the establishment of present and future control strategies, applying prediction methods and impact modeling.

b) A panel (1) on emission projecting prepares documents on available techniques for the future development of emission factors, in particular on trace pollutants for which emission factors do not yet exist.

b) ein Arbeitskreis (1) "Emissionsprognosen" bereitet einen Bericht über verfügbare Methoden zur Entwicklung zukünftiger Emissionsfaktoren in besonderem für Spurenelemente vor, für die Emissionsfaktoren zur Zeit noch nicht existieren.

c) ein Arbeitskreis (2) "Luftqualitätsvorhersage" erarbeitet Ausbreitungsmodelle für Entfernungen von 20 bis 500 km, für die Ausbreitung von schweren, explosiven und toxischen Gasen, für die Ausbreitung von Abgasfahnen aus großen Einzelquellen und entwickelt neue und forgeschrittene Ausbreitungsmodelle

d) ein Arbeitskreis (3) "Transfer und Wirkung" bereitet zusätzliche Informationen über die notwendigen Techniken vor, um Kriterien festlegen und Berechnungen über die Aufnahme und Reaktionen mit Materialien durchführen zu können.

Ein Vorschlag für eine neue Leitstudie wurde von der Bundesrepublik Deutschland an das NATO Sekretariat zur Diskussion und Zustimmung innerhalb der Herbstsitzung 1979 zugeleitet.

Fachleute aus Nicht-NATO-Ländern haben bereits in den letzten zwei Leitstudien aktiv mitgearbeitet. Diese Praxis sollte im Rahmen einer neuen Leitstudie fortgeführt werden, sofern eine Zustimmung für diese Leitstudie erreicht wird.

c) A panel (2) on air quality prediction elaborates models for distances of 20 to 500 km, for the dispersion of heavy, explosive and toxic gases, for the dispersion of plumes from large single sources and develops new and advanced models.

d) A panel (3) on transfer and impact modeling prepares additional information about the necessary techniques to introduce criteria and calculation on sinks, uptakes and reactions, in particular with materials, of the relevant air pollutants.

A proposal for a new pilot study has been submitted by the Federal Republic of Germany to the NATO Secretariat for discussion and approvement at the fall 1979 plenary.

Experts from non-NATO countries have actively participated in the last two pilot studies. This practice should be continued within the framework of a possible new pilot study if the required consent may be obtained.